

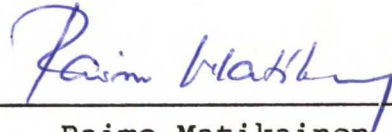
TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
PROSESSI- JA MATERIAALITEKNIIKAN OSASTO  
MATERIAALI- JA KALLIOTEKNIIKAN LAITOS

Risto Juhani Puhakka

GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä  
tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa  
varten Espoossa 29.05.1990.

Työn valvoja

  
Raimo Matikainen  
prof.

Työn ohjaajat

Jouni Reino  
fil.maist.

Pentti Seppänen  
dipl.ins.

Diplomityön valvojalle professori Raimo Matikaiselle ja ohjaajille FM Jouni Reinolle ja DI Pentti Seppäselle esitän kiitokseni saamistani neuvoista ja ohjeista.

DI Pekka Lappalaiselle haluan esittää parhaat kiitokseni työhöni paneutumisesta oman toimen ohella ja joskus aamuyöhön venyneistä keskusteluista raakkulaimennuksesta ja sen vaikutuksista kaivoksen toimintaan.

Lisäksi kiitokseni Viscaria AB:n ja Pyhäsalmen kaivoksen henkilökunnalle saamistani avusta ja positiivisesta asenteesta sekä ajoittain intensiivisestä suhtautumisesta työni tuloksiin ja keskusteluihin.

Kiitokseni myös Mining Servicen henkilökunnalle virikkeellisestä työympäristöstä työn kirjoittamisen aikana.

Tekniikan ylioppilas Maria Tiitolalle haluan esittää parhaat kiitokseni rakentavista keskusteluista ja pitkästä pinnasta kenttäkokeiden ja kirjoittamisen aikana.



**Tekijä ja työn nimi:** Risto Puhakka

Geologinen raakkulaimennus

**Päivämäärä:** 29.05.1990

**Sivumäärä:** 74

**Osasto:** Prosessi- ja materiaalitekniikka  
Materiaali- ja kalliotekniikan laitos

**Professuuri:**  
Mak-32

**Työn valvoja:** Professori Raimo Matikainen

**Työn ohjaajat:** FM Jouni Reino, DI Pentti Seppänen

Tässä työssä on tutkittu raakkulaimennukseen liittyviä tekijöitä ja selvitetty geologisen raakkulaimennuksen perusteita ja sen osuutta kokonaislaimennuksesta sekä avolouhinnassa että kapeiden malmien maanalaisessa louhinnassa.

Tutkimus perustuu kohdekaivoksilla tehtyihin selvityksiin, seurantaan ja haastatteluihin. Lisäksi on tehty raakkulaimennuksesta ja sen vaikutuksista kirjallisuusselvitys, joka on rajattu erilaisiin raakkulaimennuksen tyyppeihin ja kuinka niihin voidaan vaikuttaa. Geologista raakkulaimennusta ja sen esiintymistä on selvitetty sekä avolouhinta että maanalaisen casen perusteella. Samalla on pyritty selvittämään geologisen raakkulaimennuksen määritelmä ja taloudellinen merkitys.

Selvityksen mukaan geologista raakkulaimennusta esiintyy kapeilla ja teräväräjäisillä malmeilla eniten. Se johtuu lähinnä geologisen informaation riittämättömyydestä aiheutuvasta ylilouhinnasta. Avolouhinnassa geologinen raakkulaimennus on pienempi kuin maanalaisessa louhinnassa. Tämä johtuu avolouhinnan tuotannon aikaisista tutkimus- ja tuotannonohjausjärjestelyistä, jotka eivät ole mahdollisia maanalaisessa louhinnassa. Lisäksi avolouhinnan selektiivisyys on parempi kuin missään maanalaisessa louhintamenetelmässä.

Peränajon raakkulaimennuksella on merkittävä osuus kapeiden malmien louhinnan raakkulaimennuksessa. Viscariassa peränajon raakkulaimennus on 15 - 20 %. Kun peränajon laimennus huomioidaan koko tuotannon raakkulaimennuksen tason arvioinnissa, raakkulaimennus nousee 25.9 %:sta 28 %:iin. Tällöin v. 1989 tuotantolukujen mukaan louhoksien tuotannon laimennus on 31.3 % ja peränajon laimennus on 18 %.

Geologisen raakkulaimennuksen suuruuteen voidaan eniten vaikuttaa tutkimustiheydellä. Viscariassa tehtiin selvitys geologisen raakkulaimennuksen taloudellisesta merkityksestä. Selvityksessä kartoitettujen malminrajojen perusteella mitattiin erilaisilla tutkimustiheyksillä syntyvä geologinen raakkulaimennus. Sen suuruus vaihteli 4.5 %:sta 15 %:iin. Vastaavasti louhoskatteessa parhaimman ja huonoimman vaihtoehdon välillä oli 0.7 Mmk:n ero louhintamäärän ollessa 130000 t.



**Author and name of the thesis:** Risto Puhakka

Geological Waste Rock Dilution

**Date:** 29.05.1990

**Number of pages:** 74

**Department:** Faculty of Process Engineering **Professorship:**  
and Materials Science Department of Mak-32  
Materials Science and Rock Engineering

**Supervisor:** Professor Raimo Matikainen

**Instructors:** M.Sc Jouni Reino, M.Sc Pentti Seppänen

The purpose of this study was to investigate the factors affecting waste rock dilution. The basics of geological waste rock dilution and its responsibility for total WRD are also defined. The study covers cases in open pit and also in narrow ore deposit underground mining.

Research is based on data of ore boundaries, ore reserve calculations and discussions in selected mines. The thesis also reviews the research literature into the various types of WRD and how WRD can be reduced. Geological WRD has been investigated in one small open pit and in one underground mine. In addition, this thesis attempts a definition of geological WRD and also considers its economic significance.

According to this study geological WRD is found most commonly in narrow ore bodies which have a sharply defined ore boundary. Geological WRD is caused by mining waste rock as a result of insufficient geological information; especially of ore boundaries. In open pits the geological WRD is smaller than in underground mining. In open pits grade and production control can be made during production by means of dust sampling of the production drillholes. This is not possible in underground mining. More selectivity is possible in open pit mining than any underground mining method.

The waste rock dilution in drifting of the ore body has a significant influence on WRD of total production particularly in narrow ore bodies. In the Viscaria mine the WRD of drifting has been from 15 % to 20 %. If the WRD of drifting is calculated in terms of the total dilution in 1989, the total WRD would raise from 25.9 % to 28%. In this case the stopes have 31.3 % dilution and drifting have 18% dilution.

The level of geological WRD is dependent on the amount of information collected from the ore body by different methods. In Viscaria mine a study was made of the economic significance of geological dilution. The study contains mapped ore boundaries used to determine the geological dilution at different levels of information in the orebody. The geological WRD varied from 4.5% to 15 % depending on the research strategies employed. The economic difference between the worst and best cases was 0.7 MFIM where the mineable ore reserve in the study was 130000 tonne.

1. JOHDANTO . . . . .	3
2. KÄYTETTY TERMINOLOGIA . . . . .	4
3. YLEISTÄ . . . . .	5
3.1 Raakkulaimennus . . . . .	10
3.1.1 Suunnittelematon raakkulaimennus . . . . .	9
3.1.2 Suunniteltu raakkulaimennus . . . . .	11
3.2 Malmitappio . . . . .	11
3.3 Raakkulaimennuksen arvioiminen . . . . .	12
4. GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS . . . . .	14
4.1 Geologisen raakkulaimennuksen periaate . . . . .	14
4.2 Tutkimustiheys . . . . .	15
4.3 Malmityypit . . . . .	19
4.3.1 Informaatiotiheys eri louhintamenetelmille . . . . .	20
5. MALMIN RAJOJEN MÄÄRITYS . . . . .	22
5.1 Yleistä . . . . .	22
5.2 Informaation hankinta . . . . .	22
5.2.1 Kairaus . . . . .	23
5.2.2 Pitkäreikäporaus . . . . .	23
5.2.3 Insitu selvitykset . . . . .	25
5.3 Informaatio- ja näytetiheyden optimointi . . . . .	27
5.4 Reduktiokertoimet . . . . .	27
6. KAPEIDEN MALMIEN AVOLOUHINTA . . . . .	27
6.1 Avolouhinnan erityispiirteet . . . . .	27
6.2 Informaation hankinta . . . . .	28
6.3 Louhinnan selektiivisyys . . . . .	29
7. OKP/RUOSTESUO . . . . .	30
7.1. Yleisesittely . . . . .	30
7.1.2 Tutkimusmenetelmät . . . . .	30
7.2 Tutkimukset . . . . .	31
7.2.2 Malmiarvion luotettavuuden arviointi . . . . .	31
7.2.2 Malmin rajat . . . . .	36
7.3 Raakkulaimennus ja malmitappio Ruostesuon louhok- sella . . . . .	37
7.4 Valikoivan lastauksen merkitys . . . . .	37
7.5 Johtopäätökset . . . . .	37
8. KAPEIDEN MALMIEN MAANALAINEN LOUHINTA . . . . .	39
8.1 Välitasolouhinta . . . . .	39
8.2 Makasiinilouhinta . . . . .	40
8.3 Vein Mining . . . . .	41
8.4 Pengertäyttölouhinta . . . . .	41
8.5 Cut and Fill . . . . .	42
8.6 Esimerkki raakkulaimennuksen pienentämisestä . . . . .	43



9. VISCARIA . . . . .	45
9.1 Yleisesittely . . . . .	45
9.1.1 Geologia . . . . .	45
9.1.2 Kaivos . . . . .	46
9.2 Geologinen informaatio . . . . .	49
9.2.1 Tutkimusmenetelmät . . . . .	48
9.2.2 Orepack . . . . .	52
9.2.3 Malminrajan määrittäminen . . . . .	52
9.2.4 Geologisen informaation siirtolouhinnansuunnittelulle . . . . .	53
9.3 Informaatiotieteiden . . . . .	55
9.3.1 Pohjoismalmi . . . . .	55
9.3.2 Keskimalmi . . . . .	56
9.3.3 A- ja P-malmi . . . . .	56
9.3.4 Tietotieteiden vaikutus geologiseen raakkulaimennukseen . . . . .	57
9.3.5 Malmiarvion muuttuminen informaatiotieteiden kasvaessa . . . . .	59
9.4 Kapeaa malmia seuraava peränajo . . . . .	62
9.4.1 Menetelmäkuvaus . . . . .	61
9.4.2 Peränajon seuranta . . . . .	62
9.4.3 Perän sijoittuminen kapeissa malmeissa ja sen vaikutus raakkulaimennukseen . . . . .	66
9.5 Raakkulaimennus Viscarian kaivoksella . . . . .	66
9.5.1 Raakkulaimennuksen jakautuminen . . . . .	67
9.6 Raakkulaimennuksen lähteet eri louhintamenetelmissä . . . . .	67
9.6.1 Pitkittäinen välitasolouhintaa . . . . .	67
9.6.2 Pengertäytyslouhintaa (PCAF) . . . . .	68
9.7 Laskentaesimerkki geologisen raakkulaimennuksen taloudellisesta merkityksestä . . . . .	69
9.8 Johtopäätökset . . . . .	70
10. YHTEENVETO . . . . .	71
Lähdeluettelo . . . . .	75
Liitteet . . . . .	78

## 1. JOHDANTO

Geologinen raakkulaimennus -tutkimus ja diplomityö ovat osa laajempaa Kauppa- ja Teollisuusministeriön rahoittamaa Juonimalmi projektia. Tutkimus on tehty Outokumpu Metals & Resources Oy Mining Service:ssä 1.11.1989 - 30.4.1990 välisenä aikana.

Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää geologisen raakkulaimennuksen syntyyn ja määrään vaikuttavat tekijät erityisesti kapeilla malmeilla. Tavoitteena on myös ollut arvioida optimitietotiheyttä malmin rajan määrittämiseksi erilaisilla malmeilla. Lisäksi on tehty seurantatutkimus kapeaa malmia seuraavan peränajon toiminnasta. Samalla on pyritty määrittämään raakkulaimennuksen suuruus peränajossa Viscariassa.

Projektin lähtökohtana on ollut raakkulaimennuksen tason nykytilanne kohteiksi valituilla kaivoksilla. Tutkimus jakautui avolouhinta- ja maanalaiseen osaan. Avolouhinnan tutkimuskohteena oli Outokumpu Finnmines Oy:n Pyhäsalmen kaivoksen Ruostesuon avolouhos ja maanalaisena tutkimuskohteena Viscaria AB.

Geologisen raakkulaimennuksen suuruuden selvittämiseksi kerättiin kohdekaivoksilta saatua tutkimus- ja havaintomateriaalia. Lisäksi tehtiin kenttätutkimuksia, jotka käsittävät raakkulaimennuksen syiden ja jakautuman selvittämistä, peränajon seurantaa ja keskusteluja.

Tutkimus on rajattu kapeisiin ja pystyihin malmeihin, joissa malmin ja raakun välisen kontaktin pitäisi olla suhteellisen terävä. Tällöin geologisen raakkulaimennuksen suhteellinen osuus kokonaislaimennuksesta pitäisi olla suurin.

## 2. KÄYTETTY TERMINOLOGIA

### CUT-OFF

Ennalta määrätyillä tekijöillä määritetty rajapitoisuus. Se voi olla taloudellinen käsite, jolloin Viscariassa käytetään nimitystä block cut-off. Se tarkoittaa ennalta rajatun louhinta-alueen taloudellisilla perusteilla määräätyä cut-off:ia. Lisäksi on käytetty termiä sivu cut-off, joka tarkoittaa analyytisellä perusteella alinta malmiarvioon mukaan otettava pitoisuutta.

### INFORMAATIO TIHEYYS

Tarkoittaa sitä tarkkuutta jolla esiintymä on tutkittu ennen louhintaa malminrajojen selvittämiseksi.

### RAAKKU

On arvoainetta sisältämätön kiviaines, jota joudutaan louhimaan valmistavien töiden ja malmin louhinnan yhteydessä

TIETOTIHEYYS = INFORMAATIO TIHEYYS

### TUTKIMUSTIHEYYS

Sillä tarkoitetaan näytteenoton, siis yleensä kallionäytekairauksen ja soijaporauksen tiheyttä. Se voidaan ilmoittaa lukuarvoina esimerkiksi 25 x 15 m, joka tarkoittaa profiiliväliä (25 m) ja reikäväliä (15 m) malmilävistyksen kohdalla.



### 3. YLEISTÄ

Raakkulaimennusta ja malmitappioita syntyy mineraalien hyödyntämisprosessin kaikissa vaiheissa. Esiintymästä jalostettavan metallisisällön saantiin vaikuttavia tekijöitä ovat esiintymän geologinen selvittäminen, cut-off pitoisuuden määrittäminen, louhintamenetelmän valinta, louhinnan suunnittelu ja toteutus sekä rikastus. Vasta näiden vaiheiden loppupuolella voidaan arvioida kuinka hyvin on onnistuttu mineraaliprojektin toteutuksessa.

J. Elbrond/1/ on käsitellyt oheisen kuvan mukaisesti raakkulaimennuksen ja malmitappioiden tekijät läpi koko mineraalin hyödyntämisprosessin.

#### 1. Geologisen mallin luominen ja malmiarvio

Inventointikairausvaiheessa esiintymästä voidaan tehdä vain hyvin karkea malli, jossa erityisesti malmin rajojen tarkkuus on huono. Tosin nykyisellä malmiarviotekniikalla voidaan selvittää esimerkiksi geostatiikkaan perustuen hyvinkin tarkasti esiintymän sisältämä malmimäärä ja pitoisuus ts. metallisisältö. Kaaviossa kohta (2) kuvaa tässä vaiheessa syntyvää raakkulaimennusta ja malmitappioita.

#### 2. Cut-off pitoisuuden määrittäminen

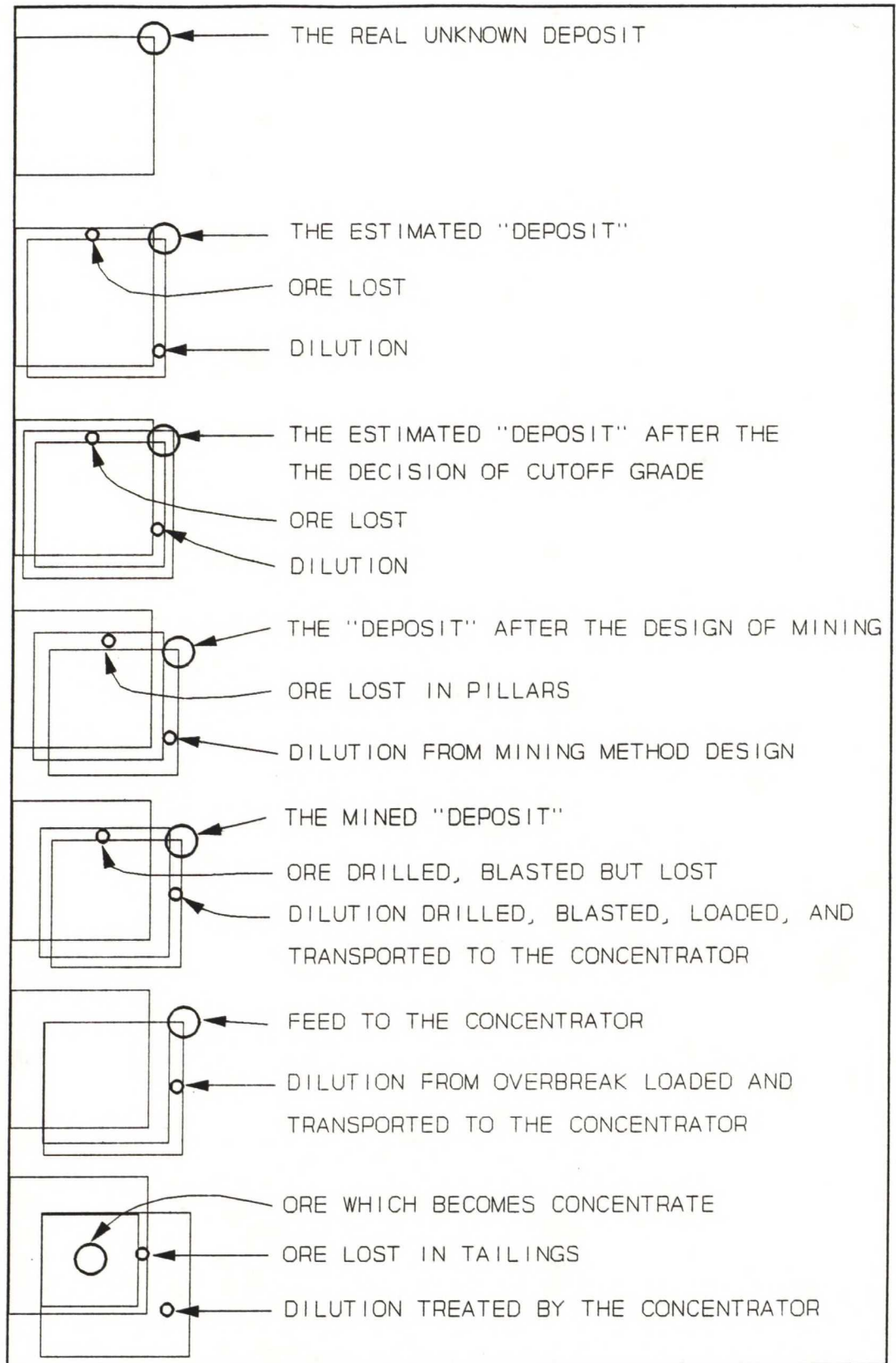
Cut-off pitoisuuden päättäminen perustuu erilaisiin numeerisiin arvioihin ja malleihin, joihin vaikuttavat erilaiset epätarkkuudet. Riittämätön tieto malminrajoista aiheuttaa sen, että piirrettyjen malminrajojen sisään jää kuitenkin sivukiveä ja toisaalta ulkopuolelle vastaavasti malmia (kaaviot 3 ja 4).

#### 3. Louhintamenetelmän valinta ja suunnittelu

Kaivoksen suunnitteluvaiheessa joudutaan jättämään louhintamenetelmistä riippuen erilaisia pilareita malmiin estämään sortumia. Vastaavasti kapeissa malmeissa joudutaan peränajossa ja louhoksissa laimentamaan malmia tarkoituksella levantämällä louhosta ja perää yli malmin rajojen esimerkiksi riittävän työskentelytilan saamiseksi louhintakalustolle (kaavio 4).

#### 4. Louhinnasta johtuva epätarkkuus.

Malmin louhinnan aikana tapahtuvista epätarkkuuksista johtuen malmi joko laimenee tai syntyy malmitappioita.



**Kuva 1.** Raakkulaimennuksen ja malmitappioiden synty kaivosprosessin eri vaiheissa/1/.



Tämä johtuu siitä, että parhaimmillaankaan poraus- ja räjäytystarkkuus ei kykene seuraamaan malmin rajoja. Tällöin malmin joukkoon porataan ja räjäytetään sivukiveä, joka nostetaan ja rikastetaan malmin mukana. Vastaavasti syntyy malmitappioita. Tämän osuutta kuvataan kaaviossa (5).

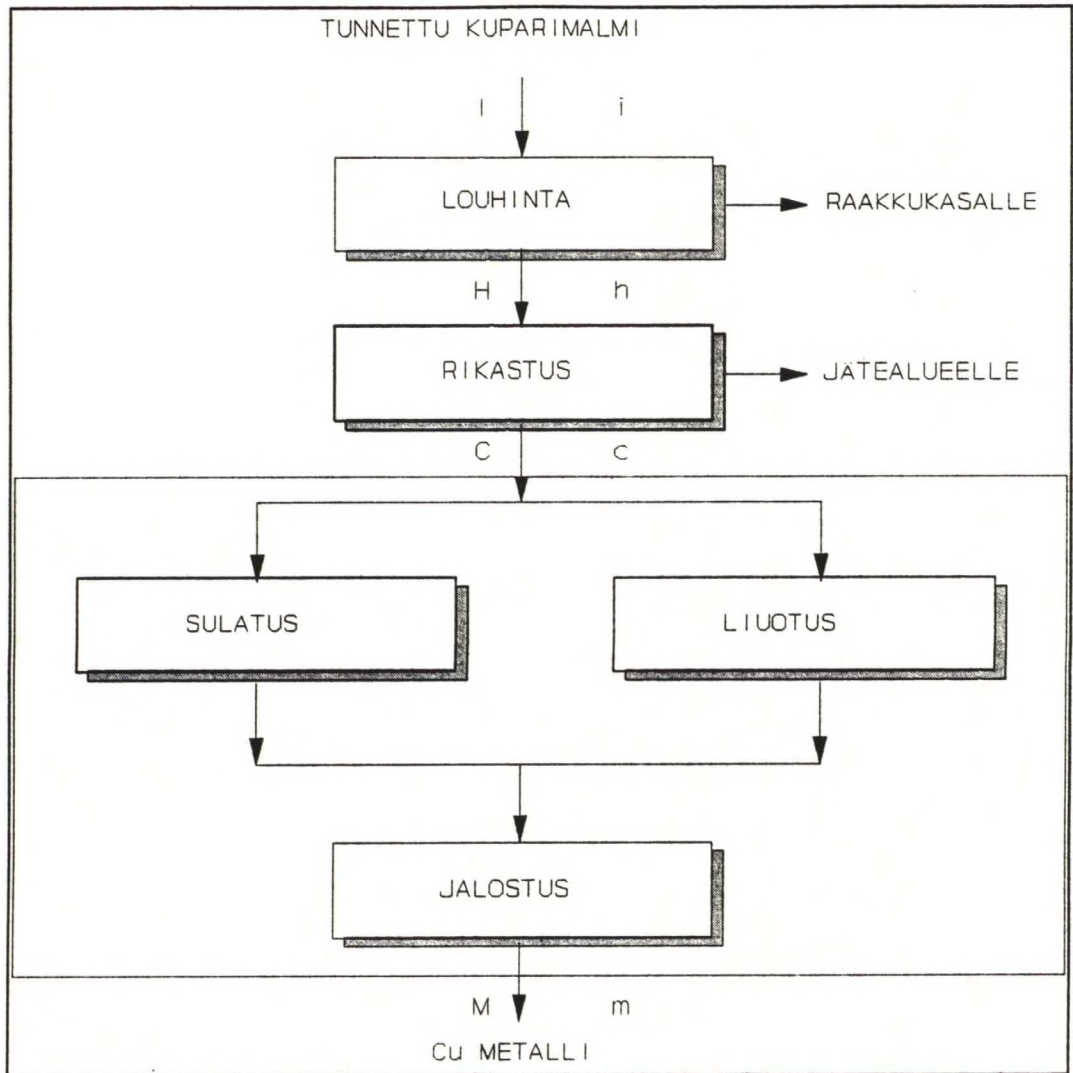
## 6. Rikastus

Periaatteessa rikastamon syötteen pitäisi olla mahdollisimman homogeenista ainakin pitoisuuden osalta. Kaikki edellämainitut tekijät aiheuttavat kuitenkin sen, että rikastamon syötteen pitoisuus saattaa vaihdella ajoittain jopa voimakkaasti. Toisaalta laimennusta aiheuttava raakku saattaa myös haitata rikastusprosessia alentuen arvoaineen saantia rikasteeseen. Tätä kuvataan kohdassa (6).

## 7. Päätelmät

Mineraalien jalostusprosessin täytyy kantaa läpi koko prosessin raakkulaimennuksen aiheuttama arvoton materiaali, joka aiheuttaa ylimää räisiä käsittelykustannuksia. Vastaavasti laimennukseen usein liittyy malmitappioiden syntyminen em. epätarkkuuksista johtuen. Tällöin periaatteessa prosessi käsittelee arvotonta raakua malmin sijasta, jolloin ylimää räisten käyttökustannuksien lisäksi jää tuloja saamatta. Tämä siksi, että käsitellään sama määrä syötettä, mutta pitoisuus on alentunut. Kohdassa (7) on esitetty mikä on mineraalien louhinta- ja jalostusprosessin kokonaissaanti. Se saattaa jäädä jopa alle 50%:n cut-off pitoisuuden ylittävän malmin metallisisällöstä.

Koko jalostusprosessia voidaan tarkastella pelkästään saannin kannalta. Jalostusprosessin kaikille vaiheille voidaan laskea saanti. Se ilmaisee kuinka suuren osan joku prosessin osa kykenee jalostamaan syötteen metallisisällöstä. Esimerkkinä on yleistetty kuparin jalostusprosessi, jossa on esitetty jalostuksen eri vaiheet. Kuvassa 2. isot kirjaimet merkitsevät tietyn prosessin vaiheen syötteen ja tuotteen määrää. Vastaavasti pienet kirjaimet merkitsevät vastaavan syötteen ja tuotteen pitoisuutta. Edellä mainitulla informaatiolla saadaan laskettua tietyn osaproessin saanti tietyssä vaiheessa tai vastaavasti saadaan selville koko jalostusprosessin saanti. Saanti kuvaa varsin hyvin prosessin toimintakykyä/2/.



Kuva 2. Kuparin saanti jalostusketjun eri vaiheissa/2/.

Tällöin kaivoksen saanti tunnetusta esiintymästä saadaan seuraavasti.

$$R_m = (H_h/I_i) * 100 \% \quad (1)$$

ja vastaavasti koko prosessin saanti on

$$R_t = (M_m/I_i) * 100 \% \quad (2)$$

Raakkulaimennus ja louhintamenetelmän saanti tai malmitappio kuvaavat tietyn louhintamenetelmän tehokkuutta ja selektiivisyyttä määrättyissä geologisissa olosuhteissa. Kuitenkaan kaivoksen tehokkuutta ei mitata louhintamenetelmien saantina tai raakkulaimennuksen suuruutena, vaan kysymys on aina taloudellisesti optimimman tuloksen hakemisesta. Tällöin täytyy huomioida prosessi kokonaisuutena ja eri tekijöiden vaikutus



toisiinsa. Esimerkiksi raakkulaimennuksen pienentäminen ja saannin parantaminen vaatii yleensä käyttökustannuksiltaan kalliimman louhintamenetelmän, jolloin on verrattava saatavaa hyötyä käytettävään panokseen.

### 3.1 Raakkulaimennus

Raakkulaimennuksella tarkoitetaan malmin ulkopuolelta louhintavaiheessa mukaan tulevan kiviaineksen aiheuttamaa rikastamon syötteen pitoisuuden alenemaa. Malmin sekoittuva raakku voi olla täysin annotonta eli arvotonta tai sitten kyseessä on louhintarajan ulkopuolelle rajattu piroteraakku, jonka pitoisuus on alle ennalta määrätyn cut-off pitoisuuden. Lisäksi raakussa jotkut mineraalit voivat haitata jatkojalostusta.

Raakkulaimennuksesta voidaan eritellä monia erilaisia tyyppejä sen syntyvän ja suunnitelmallisuuden perusteella.

#### 3.1.1 Suunnittelematon raakkulaimennus

Suunnittelematon raakkulaimennus tulee joko louhimalla tai sortumalla louhintarajojen ulkopuolelta aiheuttaen syötteen pitoisuusaleneman. Tämän tyyppisellä syötteen pitoisuuden alenemalla tarkoitetaan nimenomaan raakkulaimennusta. Suunnittelematon laimennus jakautuu syntytapojensa mukaan geologiseen raakkulaimennukseen, louhintatekniseen raakkulaimennukseen ja sortumiin.

Geologisella raakkulaimennuksella tarkoitetaan tarkoituksetonta ylilouhintaa, joka johtuu geologisen informaation riittämättömyydestä aiheutuvasta malminrajojen virheellisydestä. Toisin sanoen tapahtuu ylilouhintaa, joka aiheuttaa raakkulaimennusta, koska louhintarajat ovat väärät malminrajojen virheellisyyden johdosta.

Louhintatekninen raakkulaimennus aiheutuu siitä, että paraskaan louhintamenetelmä ei kykene seuraamaan malminrajoja yksityiskohtaisesti. Tämä ns. eri louhintamenetelmille ominainen laimennus on erittäin riippuvainen ko. louhintamenetelmän selektiivisyydestä. Louhintamenetelmien ominaisraakkulaimennuksesta ja malmitappioista on esitetty arvio/3/.

**Taulukko 1.** Louhintamenetelmien ominaisraakkulaimennus

Louhintamenetelmä	Raakkulaimennus%			malmi- tappio
	Valm.työt	Louhinta	yht	
Avolouhinta	-	5-10	5-10	?
Välitasolouhinta	5	10-20	10-18	5-10
Levysorrosslouhinta	5	20-30	17-25	10-20
Betonipilarilouhinta				
I-vaihe	10	4	7-8	2-5
II-vaihe	15	6		
Vinoseinälouhinta				
-peränajona	-	10-15	10-15	
-katto-perä ja pengert.	12	10	11	3-4
Pilareita jättävä louhinta	5	15-20	12-17	10-20

Taulukko 1 perustuu Outokumpu Oy:n kokemuksiin eri louhintamenetelmistä ennen vuotta 1979. Näistä arvoista voi todeta, että ne ovat joiltakin osin suhteellisen suuria nykyisiin lukuihin verrattuna. Toisaalta eräät mainituista louhintamenetelmistä eivät ole enää Suomessa käytössä.

Suurin syy raakkulaimennuksen pienentymiseen on ollut louhintamenetelmien ja niiden sovellutusten huomattava kehittyminen. Tämä johtuu erityisesti louhosten tukemis- ja täyttötekniikan määrätietoista kehittämisestä ja soveltamisesta erityisesti välitaso- ja pengertäyttölouhintaan.

Aikaisemmin sortumia on pidetty eräänä huomattavimpana raakkulaimennuksen lähteenä. Näin on ollut erityisesti silloin, jos niitä on ollut paljon tai ne ovat olleet suuria ja laajoja yksittäisissä louhoksissa. Edellä kuitenkin mainittiin, että lujitus ja täyttötekniikan kehittyminen yhdessä louhintamenetelmien soveltamisen kanssa ovat mahdollistaneet huomattavasti selektiivisemmän louhinnan. Tämä johtuu mm. siitä, että näiden tekijöiden avulla on saatu sortumat kokonaisuudessaan kuriin. Tästä johtuen sortumia ei voida enää pitää merkittävänä laimennuksen lähteenä.



Laajan sortuman sattuessa, louhinta kannattaa keskeyttää ja täyttää louhos mahdollisimman nopeasti. Myöhemmin voidaan jäljelle jäänyt malmi louhia. Tällöin sortunutta raakkua ei joudu rikastamon syötteeseen aiheuttamaan pitoisuuden alentumista.

### 3.1.2 Suunniteltu raakkulaimennus

Suunniteltu raakkulaimennus tulee joko sisäraakuista tai tarkoituksellisesta ylilouhinnasta. Nämä laimennustyyppit ovat luonteeltaan sellaisia, että ne täytyy hyväksyä louhintasuunnitelmaan sellaisenaan. Suunnitellun laimennuksen aiheuttama pitoisuusalenema lasketaan mukaan kaivoksen tuotantoennusteeseen eikä sitä lasketa mukaan varsinaiseen raakkulaimennukseen.

Esiintymän rakenteesta ja geologisista ominaisuuksista johtuen malmin sisään sijoittuu eri kokoisia ja muotoisia raakkusulkeumia. Näitä ns. sisäraakkuja ei useinkaan voi eikä kannata erottaa louhinnassa/4/. Esiintymän ja louhosten riittävän tiheällä näytteenotolla voidaan sisäraakkujen vaikutus syötteen pitoisuuteen laskea.

Malmion koko, asento ja muoto saattavat olla sellaiset, että sopivia ja taloudellisia louhintamenetelmiä malmin tarkkaan louhintaan ei voida soveltaa. Tällöin joudutaan louhos suunnittelemaan siten, että mukaan louhitaan sivukiveä. Usein tehdään näin esimerkiksi välitasolouhoksen pohjan avauksessa.

Ohuiden kapeiden malmien louhintaan liittyy usein tarkoituksellista ylilouhintaa. Kun kyseessä ovat alle 4m paksut malmit joudutaan jo kalustonkin puolesta esim. valmistavat perät malmissa louhimaan usein yli 4 m leveiksi. Toisaalta kaivokselle valittulla louhintamenetelmällä ei välttämättä kyetä taloudellisesti louhimaan kapeita malmeja malminrajoja pitkin, vaan joudutaan tarkoituksella laimentamaan malmia levantämällä louhosta yli malminrajojen. Tällöin louhoksen tuotannoksi lasketaan louhintarajan sisälle jäävän malmin ja raakun määrä ja pitoisuus, joka laimenee mukaan tulevan raakun verran.

### 3.2. Malmitappio

Edellämäinituista seikoista voidaan havaita, että usein raakkulaimennus ja malmitappiot liittyvät toisiinsa. Niihin johtavat tekijät ovat usein samat. Samalla lailla voidaan eritellä suunnitellut ja suunnittelemattomat

malmitappiot. Yleisesti voidaan todeta, että siellä missä syntyy raakkulaimennusta geologisista tai teknisistä syistä, syntyy myös malmitappioita. Usein tämä malmitappio on vastaavan raakkulaimennuksen suuruista.

Malmitappioiden arvioimisessa täytyy huomioida myös pilarien vaikutus. Tämä kuuluu suunniteltuihin malmitappioihin ja sen suuruus on erittäin riippuvainen käytetystä louhintamenetelmästä ja sen sovellutuksesta. Joissakin tapauksissa saattaa pilarien osuus malmitappioista olla jopa yli 90% ja kokonaisarvo voi nousta jopa 50%:iin.

### 3.3 Raakkulaimennuksen arvioiminen

Raakkulaimennuksen arviomiseen on kehitetty useita erilaisia menetelmiä. Niitä on sovellettu monenlaisiin tarkoituksiin ja niillä on ollut erilaisia lähtökohtia. Laskumenetelmien erilaisuus on aiheuttanut jopa hiukan hämmennystä ja toisaalta kaivoksilla ilmoitetut raakkulaimennuksen arvot eivät ole aina olleet vertailukelpoisia.

Raakkulaimennus on määriteltä malmin joukkoon sekaantuneen raakun määränä painoprosenteissa rikastamon syöttestä. Tällä perusteella saadaan kaava J. Mustalan mukaan/5/.

$$D(\%) = (Q_s - Q_m)/Q_s * 100 \quad (3)$$

jossa

D = Raakkulaimennus %

Q<sub>s</sub> = Syötteen määrä

Q<sub>m</sub> = Louhoksen suunniteltu malmimäärä

Tämä kaava soveltuu silloin, kun lasketaan erityisesti raakkulaimennusta yhden louhoksen osalta. Samaa kaavaa on suositeltu käytettäväksi Outokumpu Oy:n laitoksilla/6/.

Kaavasta (1) saadaan johdetuksi arvo syötteen laimennetuksi pitoisuudeksi.

$$G_s = (1 - D/100) * G_m \quad (4)$$

jossa

G<sub>s</sub> = Syötteen laimennettu pitoisuus

G<sub>m</sub> = Malmin in situ pitoisuus



Vastaavasti kaavasta (4) saadaan raakkulaimennukselle arvo pelkän pitoisuusaleneman perusteella.

$$D(\%) = ((G_m - G_s)/G_m) * 100\% \quad (5)$$

Kaava (5) on erittäin kätevä käyttää silloin, kun arvioidaan kaivoksen raakkulaimennuksen tasoa viikottain tai kuukausittain. Ko. kaava ei ole aivan alkuperäisen määritelmän mukainen, koska erityisesti pirotekalmeissa raakun arvomineraalipitoisuuden vaikutus aiheuttaa virhettä. Mutta silloin, kun malmin kontakti on terävä ja raakku on annotonta, on kaava (5) aivan yhtä pätevä kuin kaava (3).

Tässä diplomityössä on käytetty kaavoja (3), (4) ja (5) ja niiden sovellutuksia järjestelmällisesti. Tämä on tapahtunut myös silloin, kun raakkulaimennus on laskettu pinta-alojen perusteella leikkauksista tai perien kartoituksista.

Raakkulaimennus voidaan laskea in situ malmista. Tämä laskentatapa ei tosin toteuta raakkulaimennuksen alkuperäistä määritelmää. Tällöin laskentakaava muodostuu seuraavasti/5/.

$$D(\%) = Q_r/Q_m * 100\% \quad (6)$$

Laimennettu pitoisuus lasketaan

$$G_s = 1/(1 + D/100) * G_m \quad (7)$$

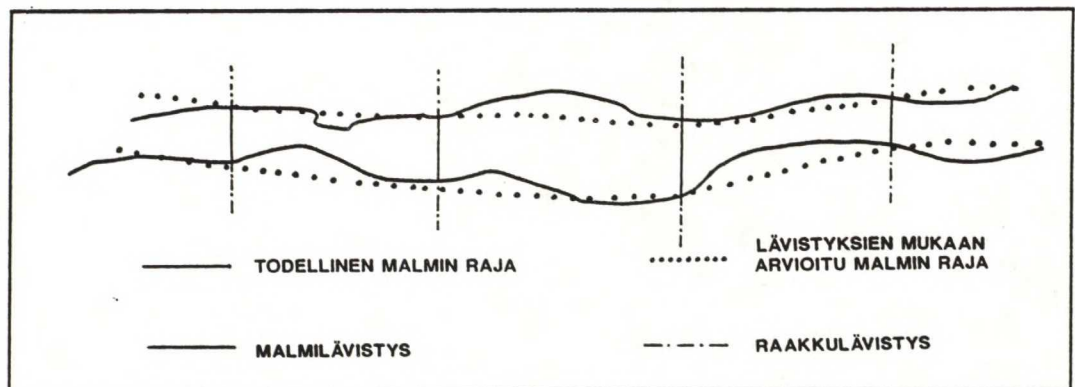
Kaavat (6) ja (7) eivät ole suositeltavia käyttää koska ne eivät toteuta raakkulaimennuksen alkuperäistä määritelmää.

#### 4. GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS

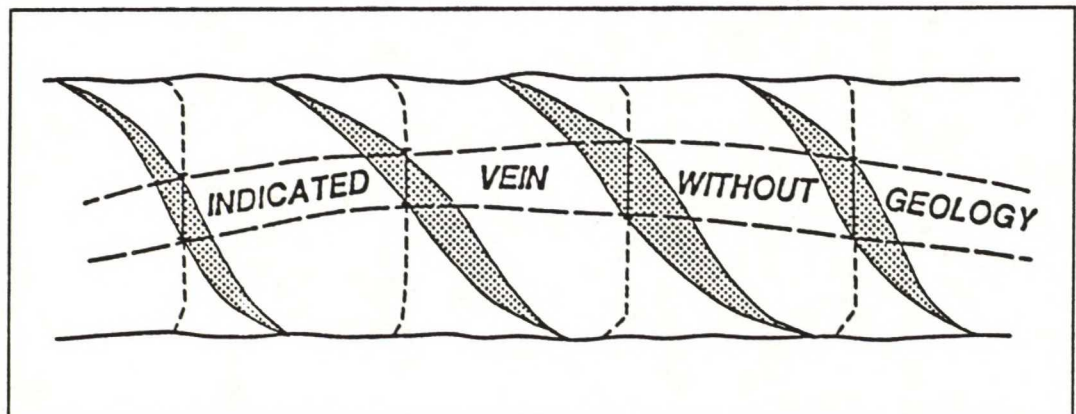
Raakkulaimennuksen määritelmän mukaan geologinen raakkulaimennus on ns. suunnittelematonta laimennusta. Se perustuu siihen, että louhittavasta malmista ei ole riittävästi informaatiota malmin rajojen, malmin tarkan sijainnin tai jopa sen pitoisuuden ja määrän oikein määrittämiseen.

##### 4.1 Geologisen raakkulaimennuksen periaate

Geologisella raakkulaimennuksella tarkoitetaan ylilouhintaa, joka aiheutuu siitä, että ei tunneta malminrajoja riittävän hyvin. Sitä esiintyy aina, mutta sen erottaminen louhintateknisestä raakkulaimennuksesta ja pienistä sortumista on varsin vaikeaa.



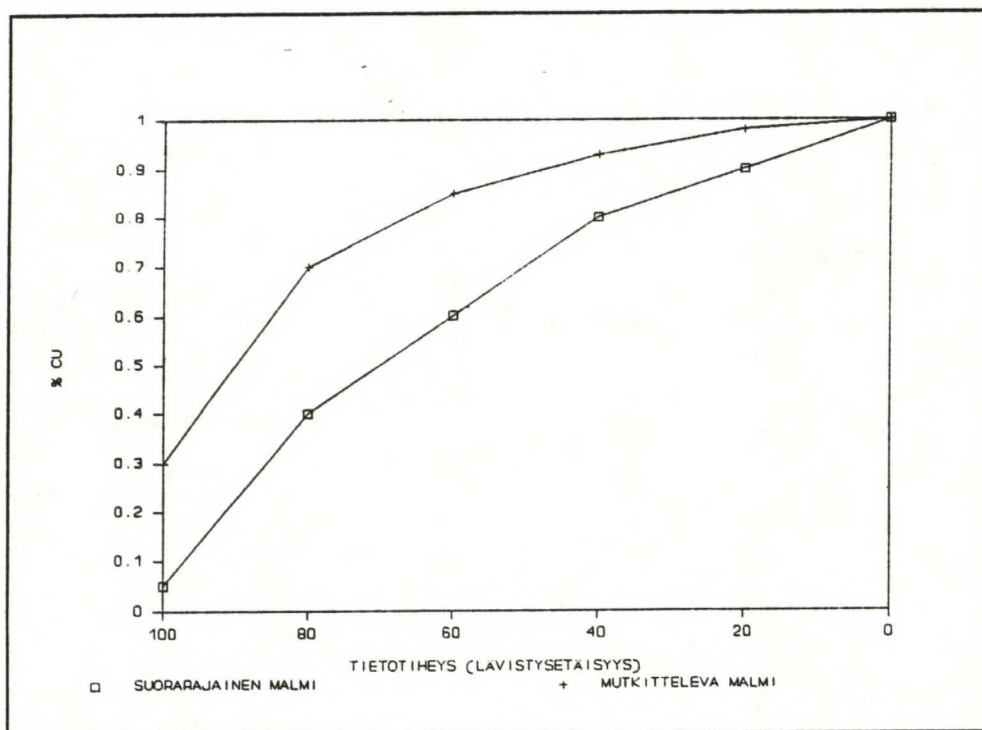
Kuva 3. Geologisen raakkulaimennuksen synty/7/.



Kuva 4. Geologisen raakkulaimennuksen synty juonimalmissa

Kuvien mukaan malmin insitu rajoista ei tunneta kuin pisteet lävistysten kohdalla. Tästä johtuen tarkkaankin louhittaessa malmin pitoisuus jää pienemmäksi kuin kuvan informaation perusteella tehdyssä malmiarviossa. Pitoisuusalenema johtuu siitä, että piirretyn malminrajan sisäpuolelle jää raakkua ja ulkopuolelle osa malmia/7/.

Vastaavasti voidaan esittää tarkkaan louhitun malmin suhteellisen pitoisuuden muutos informaatiotiheyden muuttuessa silloin, kun louhintatekninen raakkulaimennus on 0%. Kuvasta 5 nähdään myöskin kuinka eri malmityypit ja malminrajan mutkittelu vaikuttavat syötteen pitoisuuteen.



Kuva 5. Periaatekuva syötteen suhteellisen pitoisuuden muutoksesta informaatiotiheyden kasvaessa. Informaatiotiheyden lähestyessä ääretöntä syötteen pitoisuus lähestyy malmiarvion antamaa tilastollista arvoa/7/.

#### 4.2 Tutkimustiheys

Tutkimustiheys vaihtelee huomattavasti mineraaliprojektin eri vaiheissa. Informaatiotiheys kasvaa koko ajan projektin edetessä malmin löytymisestä sen louhintaan. Kuvan 6. mukaan nähdään mineraaliprojektin eri toteutusvaiheet ja kuinka tietotiheys kasvaa projektin edetessä.



Kaavion mukaan ensimmäinen vaihe on malminetsintäkairaukset. Sen tavoitteena on yksinkertaisesti löytää arvomineraalipitoista kiveä niin, että lävistyksen paksuus/pitoisuus voidaan tulkita malmiluokan löydöksi ja tutkimuksia voidaan jatkaa. Sitä edeltää tavallisesti pitkä ketju muita tutkimusmenetelmiä, joiden perusteella on valittu kairauskohde. Tässä vaiheessa tietotiheys on alhainen. Malminetsintäkairausten perusteella voidaan antaa karkea suuruusluokka-arvio, ts. onko kyse kymmenistätuhansista, sadoistatuhansista vai miljoonista tonneista/8/.

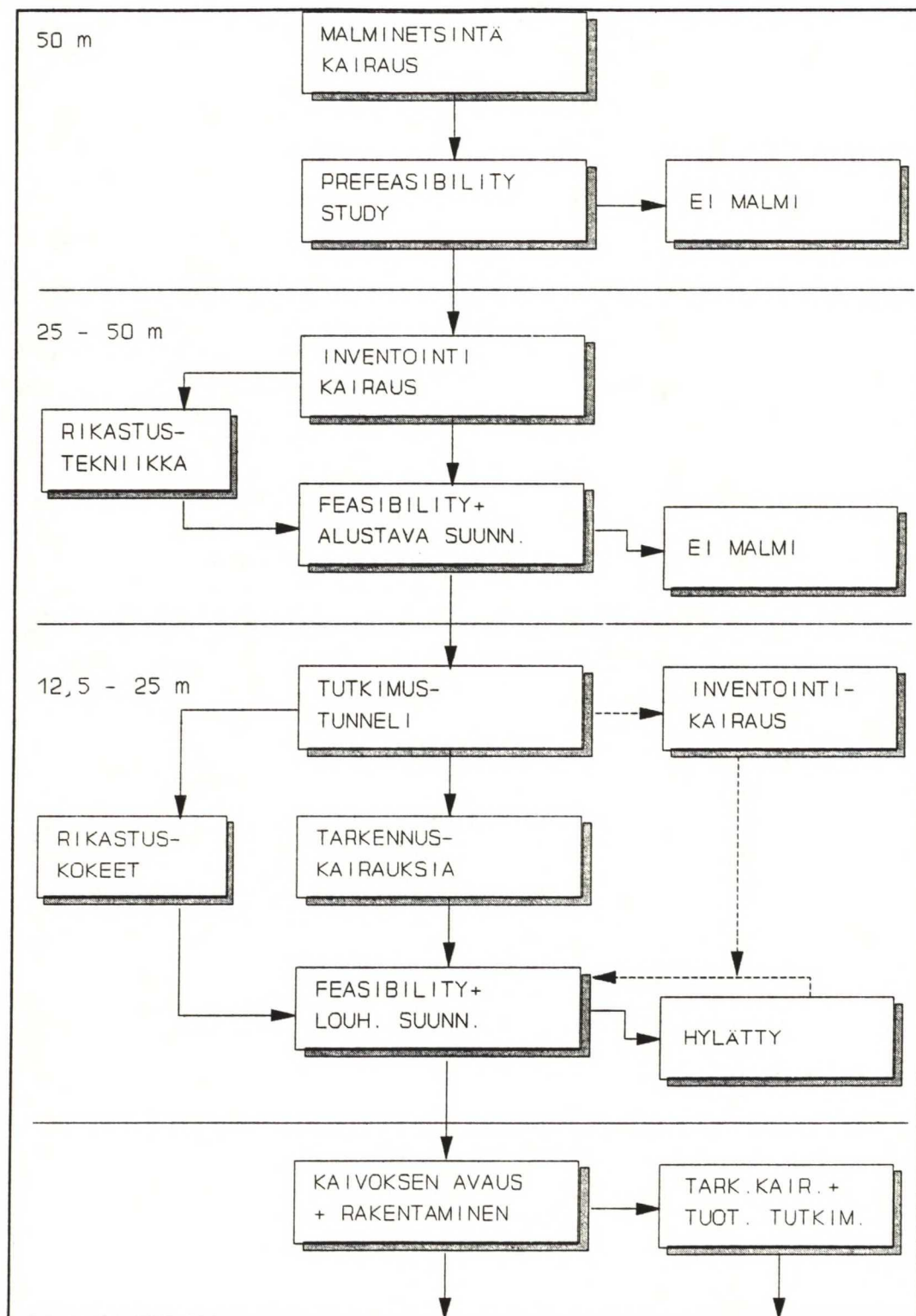
Inventointikairausten tarkoituksena on selvittää löydöksen määrä ja laatu "todetut malmivarat" tarkkuudella, mikä tarkoittaa 10 - 15% tarkkuutta/8/,/9/. Viimeistään tässä vaiheessa on päätettävä malmiarviomenetelmä ja tutkimustiheys.

Inventointikairauksissa kairausstiheys saadaan tavallisesti puolittamalla profiiliväli esim. 100 m:stä 50 metriin ja edelleen 25 m:iin. Joissakin tapauksissa malmi on niin monimutkainen, että kannattaa mennä 10 - jaolliseen leikkausväliin. Tämä mahdollistaa 20 m:n profiilivälin/8/.

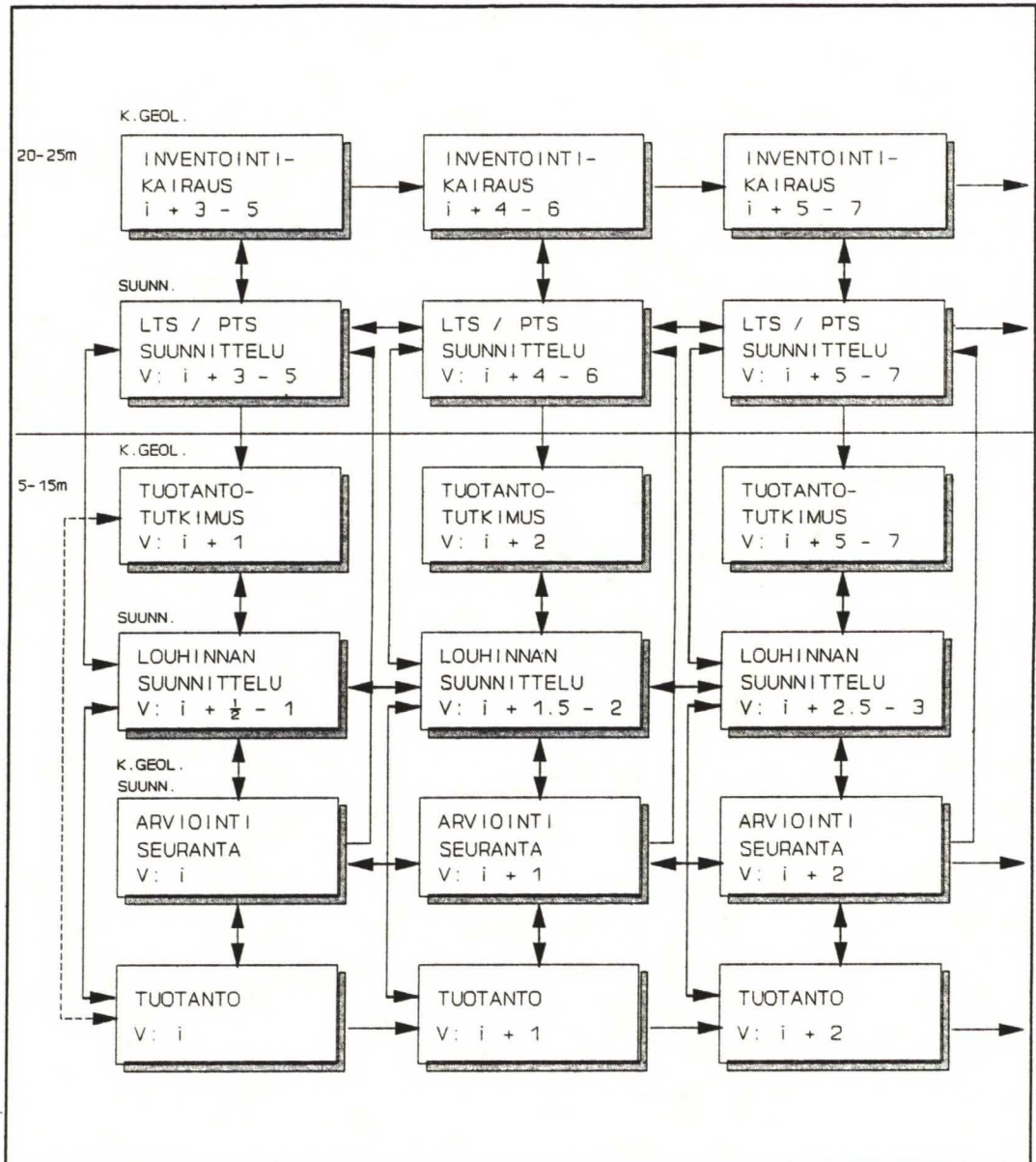
Inventointikairauksissa selviää luotettavasti esiintymän tai uuden malmion koko, muoto, laatu ja asento, jotka ovat lähtötietoja louhinnan suunnittelulle ja investointipäätöksille. Suomen deformatiivisessa ja juonikivien pilkkomassa kallioperässä inventointikairausten tiheys ei riitä selvittämään malmin rajoja profiilien välissä/8/. Tähän rajojen tarkistamiseen tarvitaan tarkennuskairauksia, jotka tehdään useimmiten puolittamalla inventointikairausten profiilivälit.

Malmirajojen tarkennusta varten tehdään myös soi-japo-rausta, reikämittauksia ja kartoituksia. Nämä tutkimusmenetelmät lisättynä lyhyillä tarkennuskairausrei'illä voidaan yhdistää tuotantotutkimus-käsitteen alle. Louhinnan suunnittelun ja tutkimuksen riippuvuus sekä informaation kulku kaivoksen tuotannon aikana on esitetty kuvassa 7. Siinä on lokeroitu tuotantotutkimus erikseen siten, että se sisältää kaikki tutkimusmenetelmät malminrajojen tarkentamiseksi.





**Kuva 6.** Kaavio mineraaliprojektin toteutuksesta ja infomaatiotiheyden muutoksesta projektin tutkimusten edetessä.

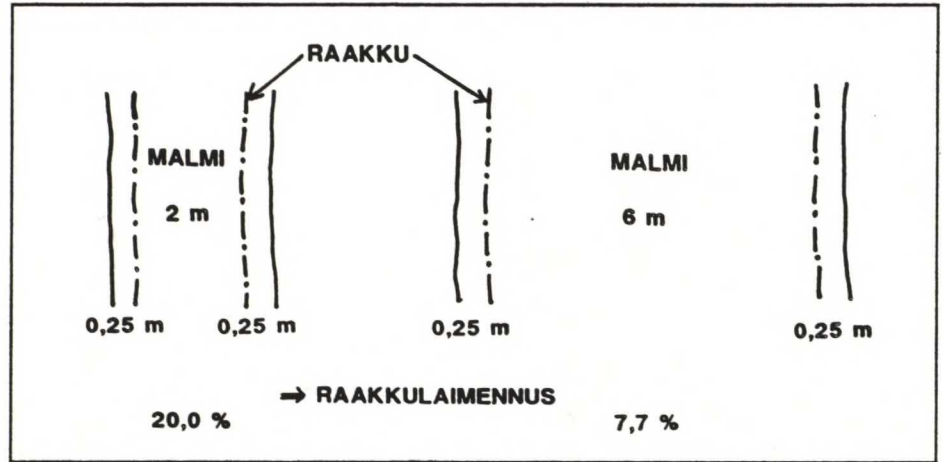


**Kuva 7.** Kaivoksen tuotannon aikana louhinnan ja tutkimuksen riippuvuus sekä informaationkulku. Kuvassa on esitetty kolmen tuotantovuoden toiminta. Laatikoiden alalaidassa V tarkoittaa tuotantovuotta, jota varten tehdään kyseinen toiminta.

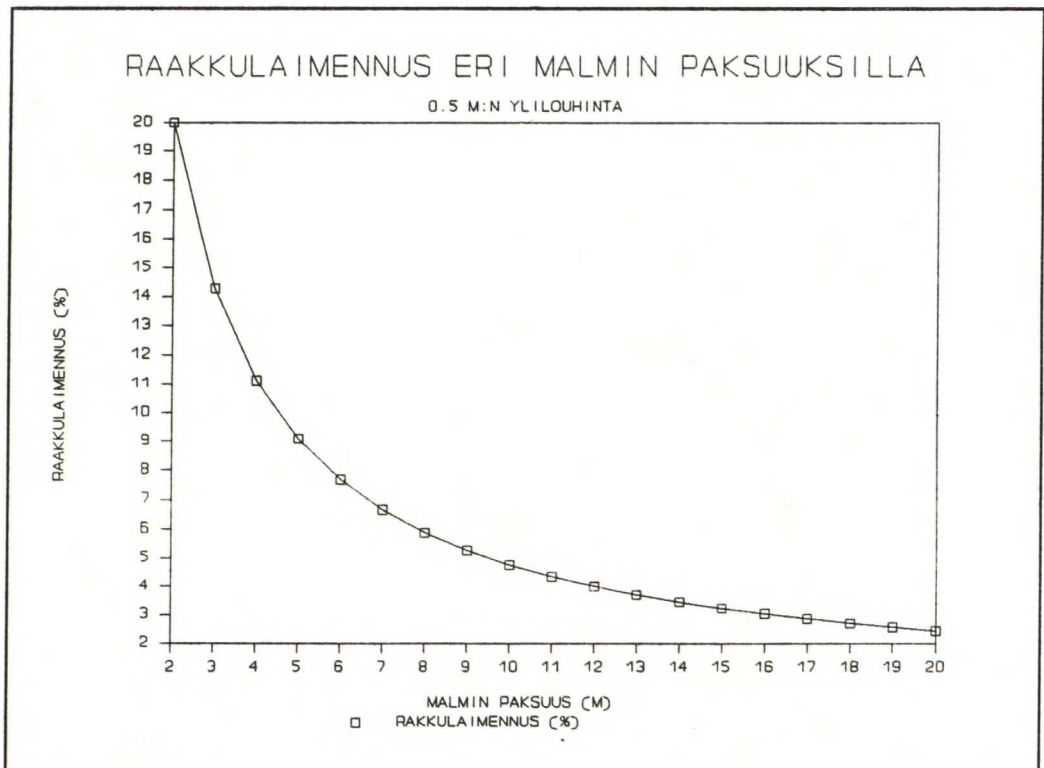
#### 4.3 Malmityypit

Erilaisten malmityyppien vaikutus geologisen raakku-laimennuksen tasoon ja vaatimukset tutkimustiheydelle vaihtelevat huomattavasti. Yksistään malmin paksuus aiheuttaa huomattavia tarkkuusvaatimusten vaihteluja. Kuvassa 8 on esitetty kuinka malmin paksuus vaikuttaa

raakkulaimennuksen suuruuteen. Tämä koskee sekä louhintateknistä että geologista raakkulaimennusta. Lisäksi on esitetty kuinka 0.5 m:n epätarkkuus eri malmin paksuuksilla muuttaa raakkulaimennuksen suuruutta.



Kuva 8. Malmin paksuuden vaikutus raakkulaimennukseen.



Kuva 9. Raakkulaimennuksen riippuvuus malmin paksuudesta.



Edellä mainittujen kuvien perusteella voidaan todeta, että malmin louhinta ja taloudellisen riskin hallinta ovat vielä huomattavasti vaikeampaa kapeilla kuin paksumilla malmeilla erityisesti maanalaisessa louhinnassa.

Oman ryhmänsä muodostavat lisäksi erilaiset pirotekniikat, kuten Lapin pienet kultamalmit. Niissä ei voida erottaa arvomineraaleja ja malminrajaa visuaalisesti. Tällöin voidaan malminraja määrittää riittävän tarkasti ainoastaan kairaamalla ja soiaporauksella. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää reikägeofysiikkaa ja kivilajien petrofysikaalisia ominaisuuksia hyväksi malminrajan määrittämisessä. Periaatteessa vastaava tilanne on myös esimerkiksi nikkelimalmeissa. Kompaktin malmin erottaa helposti mutta myös pirotekniikoilla on huomattava taloudellinen merkitys. Ainoa keino on tällöin määrittää malminraja analysoimalla.

#### 4.3.1 Informaatiotiheys eri louhintamenetelmille

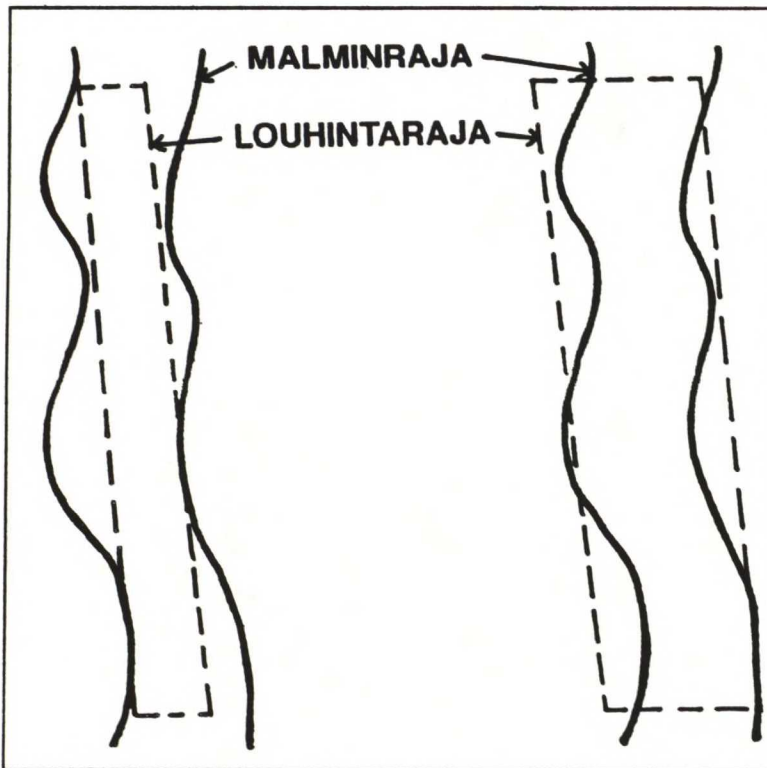
Louhintamenetelmää valittaessa informaatiitiheyden pitää olla niin suuri, että malmiarvio voidaan perustaa todettuihin malmivaroihin. Tämä siksi, että malmion asento, muoto ja koko pitää olla selvillä suunnittelun perustaksi. Vastaavasti valmistavien töiden suunnittelun pitää niinkään perustua informaatiitiheyden kannalta vähintään todettuihin malmivaroihin.

Kun louhintamenetelmän valinta perustuu riittävään informaatioon malmista, saadaan todennäköisimmin kehitettyä ja valittua paras mahdollinen louhintamenetelmä vallitseviin olosuhteisiin. Louhintamenetelmän pitäisi olla mahdollisimman selektiivinen, mutta vastaavasti pitäisi saada riittävän suuri tuotantotaso.

Lisäksi hyvä informaatiotaso antaa mahdollisuuden erilaisten louhinta- ja tuotantovaihtoehtojen luotettavalle selvittämiseksi. Esimerkiksi malmin ollessa muodoltaan monimutkainen ja käytettäessä mahdollisimman selektiivistä louhintamenetelmää, ts. louhitaan mahdollisimman tarkasti malminrajoja pitkin, on geologinen raakkulaimennus suurin. Tällöin voidaan selvittää louhintamenetelmän laajuusvaihtoehdot myös siten, että louhitaan malmi niin kapeana louhoksena, että malmi saadaan varmasti puhtaana. Seurauksena on suuri malmitappio. Vastaavasti voidaan louhia riittävän leveästi, että malmin saanti olisi mahdollisimman korkea. Tällöin raakkulaimennuksen taso olisi korkea. Suuremmalla louhintamenetelmällä saadaan laajamittakaavaisen louhintamenetelmän edut erityisesti kapeissa malmeissa. Lisäksi

tutkimustarve pienenee etenkin tuotantotutkimuksen osalta, kun hyväksytään jo suunnittelussa suurehko laimennus/10/.

Esitetyillä menetelmillä on syötteen pitoisuuden ennustaminen ja reduktiokertoimien käyttö helpompaa, koska geologinen raakkulaimennus on huomioitu myös suunnittelussa. Vaikka nämä em. vaihtoehdot eivät antaisi talodellisesti parasta tulosta toiminevat ne kuitenkin suunnittelun reunaehtoina/10/.



Kuva 10. Louhintamenetelmien reunaehdot/10/.



## 5. MALMINRAJOJEN MÄÄRITYS

### 5.1 Yleistä

Malminrajojen määrittäminen jakautuu varsin selkeästi kahteen erilaiseen menetelmään. Ensimmäinen on selkeä kompakti malmi, jossa malminraja on terävä ja visuaalisesti erotettavissa. Toinen on erilaiset piroteomalmit, joista Suomessa yleisimpinä ovat nikkelimalmit ja Lapin pienet kultamalmit. Niissä malminrajan visuaalinen erottaminen täsmällisesti tai ollenkaan ei ole mahdollista, vaan se perustuu puhtaasti näytteenotosta saataviin analyysihin.

Silloin kun malminraja on terävä ja helposti havaittavissa ei malminrajojen määrittämisessä näytteenoton perusteella ole ongelmia. Ainoaksi vaikeudeksi tällöin jää malminrajan selvittäminen ja oikean tutkimustiheyden arviointi. Lisäksi pitoisuusjakauma malmissa on yleensä sellainen, että periaatteessa malmin pitoisuus ylittää cut-off:n kokonaisuudessaan tai sitten ei ollenkaan. Tämä merkitsee sitä, että malminrajat eivät muutu, vaikka cut-off muuttuisi esimerkiksi metallien hintojen vaihtelun seurauksena.

Piroteomalmeissa ongelma on huomattavasti monimutkaisempi, koska malminraja ei ole yksikäsitteinen. Se on analysoimalla ja ennalta määrätyn cut-off pitoisuuden perusteella määritetty. Malminrajan riippuvuus cut-off:sta ja sitä kautta metallien hinnoista aiheuttaa sen, että malminrajat muuttuvat kaivoksen tuottamien rikasteiden arvon mukaan. Kun tiedetään, että louhinnan suunnittelun ja tuotantotutkimuksen viive tuotantoon on parhaimmillaankin muutamia kuukausia, aiheuttaa se varsin suuria vaatimuksia kaivoksen suunnitteluorganisaatioille. Joskus metallien hinnat vaihtelevat niin nopeasti, että em. syistä louhitaan periaatteessa cut-off pitoisuuden alittavaa malmia. Kaivoksen pitäisi tällaisissa tapauksissa kyetä mukautumaan mahdollisimman nopeasti muuttuviin tilanteisiin.

### 5.2 Informaation hankinta

Informaation hankintamenetelmät ja näytteenotto muodostavat tärkeän ja kalleimman osan niin uuden esiintymän tutkimisessa ja inventoinnissa kuin jo louhittavan esiintymän tuotantotutkimuksessa. Lisäksi eri menetelmät antavat erilaista informaatiota nimenomaan malminrajoista.



### 5.2.1 Kairaus

Kairaus on ylivoimaisesti eniten käytetty menetelmä malmiesiintymän tutkimisessa/4/. Sen parhaimpia etuja muihin menetelmiin verrattuna on suurin ulottuvuus, josta voidaan saada luotettavaa tietoa. Parhaimmillaan voidaan saada luotettavaa informaatiota jopa 250 m:n päästä porauspisteestä kaivosteknisten kallio-ominaisuuksien selvittämiseksi/8/.

Kairauksessa saatava tärkein tuote on kairasydän ja siitä saatavat analyysi- ja geologiset tiedot. Mutta sen lisäksi jää käytettäväksi reikä, josta pitäisi mitata ainakin lähtökulma, jotta tiedettäisiin mistä saatu informaatio on. Lisäksi pitkissä rei'issä taipumamittaukset auttavat huomattavasti informaation lähteen paikantamisessa. Suomen kaivoksilla lähtösuunnan mittaaminen on jokapäiväistä rutiinia.

Kairaus on paras menetelmä malmin muodon, koon ja inventoinnin näytteenottoon/8/. Mutta malmin rajojen tarkkaan määrittämiseen ja erityisen tiheään näytteenottoon se ei ole paras mahdollinen, koska kallionäyte-kairaus on kallis ja varsin hidas menetelmä, kun otetaan huomioon laitteiden siirto ja analyysiin kuluva aika.

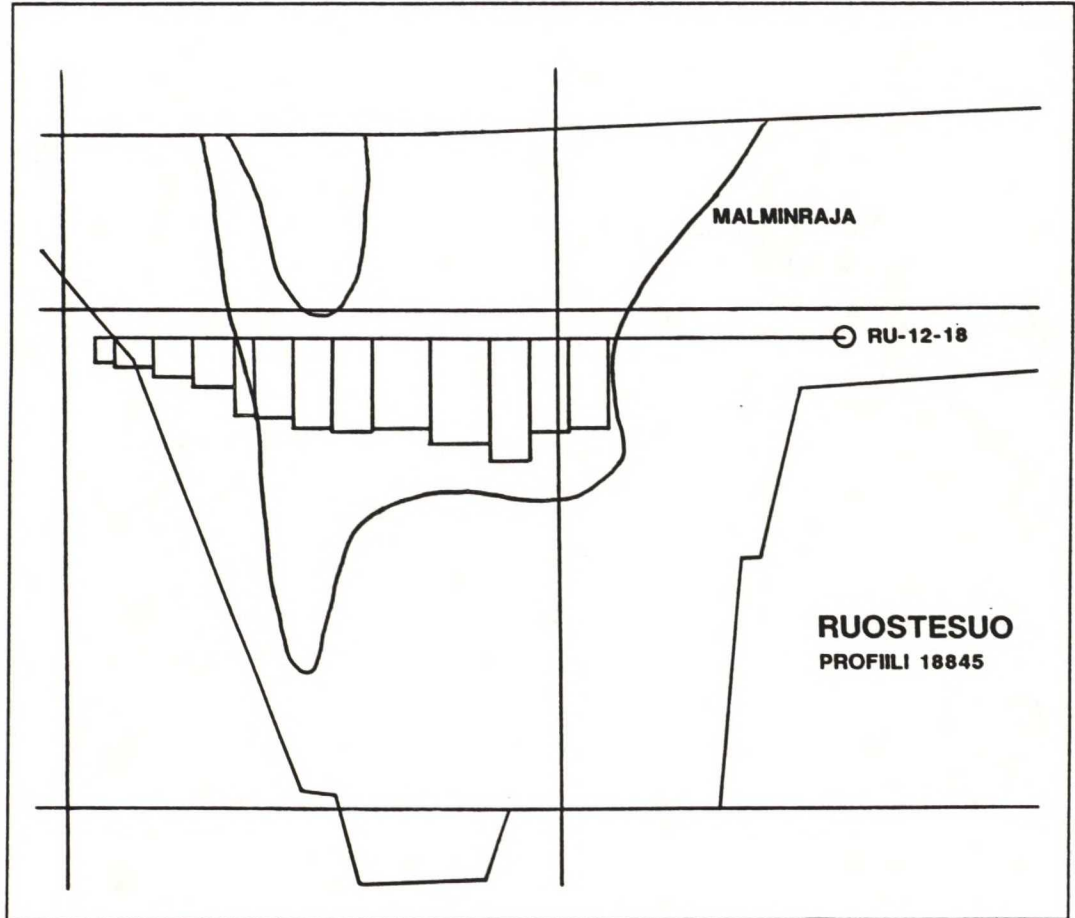
### 5.2.2 Pitkäreikäporaus

Pitkäreikäporaus l. soijaporaus suoritetaan normaalilla iskuporaustekniikalla/11/. Porauksessa saatava näyte jauhautuu hienoksi ja poistuu reiästä huuhtelun mukana. Pitkäreikäporauksesta saadaan soijanäyte, kun käytetään vesihuuhtelua ja pölynäyte, kun käytetään ilmahuuhtelua/10/. Pitkäreikäporauksessa näyte otetaan yleensä 0.9 m:n tai puolen jatkotangon välein. Tällöin saadaan riittävä tarkkuus analysointiin ja malmin rajojen määrittämiseen.

Pitkäreikäporausta käytetään paljon näytteenottomenetelmänä sen suhteellisen halpuuden ja joustavuuden takia. Se on menetelmänä huomattavasti nopeampi ja halvempi kuin kairaus. Lisäksi pitoisuusanalyysit ovat tietyin rajoituksin suhteellisen luotettavia. Sen suurimpana rajoituksena on reiän maksimipituus n. 35 m. Vastaavasti reikätiheys saadaan helposti suureksi, mikä on tärkeää nimenomaan malminrajojen määrittämisessä.

Eräs suurimpia ongelmia pitkäreikäporauksessa on pitkissä rei'issä (yli 20m) ja malmista ulospäin porattaessa näytteen saastuminen. Tällöin porattaessa reikään jää

soijaa näytepussin vaihtamisen jälkeen ja näytteet sekoittuvat. Tämä ongelma on poistettavissa reiän riittävän huolellisella huuhtelulla näytepussien vaihtamisen välillä. Vastaavasti pitkissä rei'issä jatkotangot hiertävät reiän seinämistä kiviainesta näytteeseen aiheuttaen virhettä. Tällaisia ilmiötä esiintyi mm. Ruostesuon tutkimuksissa.



**Kuva 11.** Soijaporausnäytteen saastuminen.

Varsinaisen soijaporausnäytteen tapaan on mahdollista käyttää myös tuotantoporausnäytteen reikiä vastaavaan näytteenottoon. Tämä on kuitenkin maanalaisessa louhinnassa osoittautunut erittäin vaikeaksi työjärjestelyjen takia. Lisäksi alakätisistä rei'istä ei kannata näyttettä ottaa sen lajittumisen takia. Sitä vastoin avolouhinnassa käytetään tuotantoporausnäytteenottoon. Tämän näytteenotto-menetelmän avulla avolouhinnasta saadaan selektiivinen, koska louhintarajoihin voidaan vielä vaikuttaa jopa panostussuunnitelmaa tehtäessä/12/.



### 5.2.3 Insitu selvitykset

Insitu-tilassa eli itse tutkittavassa kalliokohdassa tehtävät selvitykset jakautuvat suoritustapojen mukaan. Kalliosta voidaan tehdä mittauksia ja havaintoja, joissa selvitetään mahdollisimman kvantitatiivisesti kallion ominaisuuksia. Lisäksi voidaan tehdä kokeita, joissa aiheutetaan kallioon fysikaalinen muutos ja havainnoidaan sen seurauksena tapahtuvia ilmiöitä/11/.

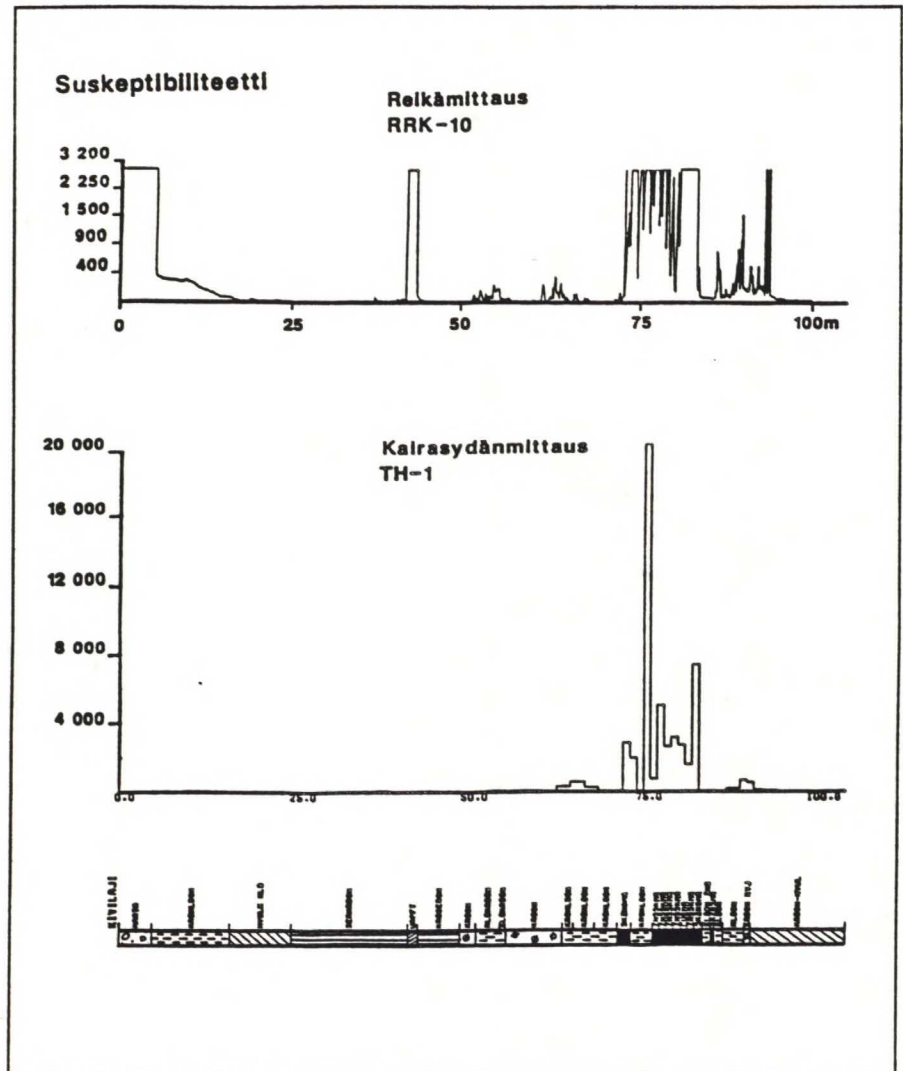
Ensimmäisen ryhmän tärkein menetelmä on erilaiset kartoitukset, joilla pyritään selvittämään heikkousvyöhykkeiden, kivilajien ja malmin rajoja. Tämä menetelmä antaa luotettavaa ja halpaa informaatiota malminrajoista ja niiden kulusta. Tämä informaationhankinta ei toimi kaikilla malmityypeillä.

Insitu-mittauksiin kuuluvat niinikään erilaiset geofysikaaliset menetelmät ja erityisesti reiästä suoritettavat mittaukset. Reikägeofysiikka ja sen perusteella tapahtuva malminrajan määrittäminen perustuu mm. sähköisiin (galvaanisiin), sähkömagneettisiin (induktiivisiin), magneettisiin, seismisiin, painovoimaan (gravimetrisiin) ja säteilymittauksiin/11/.

Reikägeofysiikka on malminrajan määrittämisessä erittäin riippuvainen malmin ja sivukiven ominaisuuksien eroista. Joissakin tapauksissa voidaan reikägeofysiikan avulla jopa korreloida malmin pitoisuusjakautumaa. Joskus taas reikägeofysiikka ei sovellu siihen ollenkaan.

Edellä esitettyjä mittauksia varten täytyy porata reikä, jolloin periaatteessa on saatavilla soi- tai pölynäyte, joka on usein luotettavampi kuin esimerkiksi reikägeofysiikalla tulkittu malminraja. Tuotantoporausreikien mittaus reikägeofysiikalla saattaisi antaa mielenkiintoisia näkökohtia tuotannonohjauksen kehittämiseksi ja malminrajan määrittämiselle. Tällöin voitaisiin päästä periaatteessa samaan tilanteeseen kuin avolouhinnassa, jolloin panostussuunnitelmassa voidaan vielä huomioida viimeiset muutokset malmin rajassa. Esimerkkinä on esitetty väliaineen susceptibiliteettiin perustuva vertailumittaus Mullikkorämeellä (kuva 12).





Kuva 12. Esimerkki reikägeofysiikan tulkinntasta/13/.

### 5.3 Informaatio- ja näytetiheyden optimointi

Esiintymän inventointi- ja malmiarviovaiheessa on olemassa jokaiselle esiintymälle tyypillinen tietotiheys, jonka ylittäminen, siis lisäkairaukset, eivät muuta malmiarvon tarkkuutta/14/. Tämä voidaan myöskin osoittaa geostatistisin menetelmin malmiarviota laskettaessa. Vastaavasti malminrajojen tarkka määrittäminen geologisen raakkulaimennuksen pienentämiseksi vaatii huomattavasti enemmän kairauksta, soijaporausta ja kartoitusta kuin pelkän malmiarvion tekeminen/14/.

Näillä perusteilla esiintymä tai malmio pitää tutkia eri vaiheissa erilaisilla tavoitteilla. Inventointivaiheessa pitää pyrkiä sellaiseen näytetiheyteen ja arvioimis- menetelmään, joka tilastollisesti antaa tarkan malmiar-

vion. Malminrajojen määrityksessä pyritään niin suureen informaatiotiheyteen, että voidaan estää geologisen raakkulaimennuksen synty/14/.

Edellä esitetyt tekijät huomioiden päästään helposti varsin hyvään informaatiotiheyden optimointiin. Inventointivaiheessa nähdään helposti milloin lisäreiät eivät anna enää merkittävästi lisää informaatiota malmiarvion tarkkuuden kannalta. Tuotantotutkimuksessa on käytettävissä halvempia tutkimusmenetelmiä ja päästään helposti suureen informaatiotiheyteen malminrajojen selvittämiseksi. Informaatiotiheyden ja tutkimusmenetelmien optimoinnissa täytyy kuitenkin muistaa, että jokainen esiintymä on erilainen ja että niillä on omat tyypilliset piirteensä, joihin eivät patenttiratkaisut sovellu.

#### 5.4 Reduktiokertoimet

Yleisesti on havaittu, että olkoon malmiarvio kuinka tarkka tahansa niin sillä on taipumus aliarvioida malminmäärä ja yliarvioida pitoisuus syötteessä. Tältä perusteelta kehittyi geostatiikka malminarviotekniikassa /15/. Tällöin ei kuitenkaan otettu huomioon raakkulaimennusta sen eri muodoissa vaan oletettiin, että kaikki epätarkkuudet ovat ainoastaan malmiarviossa.

Nykyisin pitoisuusalenema johtuu lähes kokonaan raakkulaimennuksesta ja malmitappioista. Kun kaivoksella on sekä malmiarviot että tuotantotutkimus kunnossa, voidaan tätä pitoisuusalenemaa arvioida ns. pitoisuusreduktiokertoimilla. Tämä perustuu kaivoksella saatuun aikaisempaan kokemukseen ja informaatioon vastaavissa tilanteissa.

Uusilla mineraaliprojekteilla tilanne on vaikeampi ja tällöin reduktiokertoimet perustuvat aikaisemmista vastaavista projekteista saatuun kokemukseen. Lisäksi ensimmäiset louhokset ovat erittäin tärkeitä, koska tällöin saadaan ensimmäistä kertaa esiintymästä todella tuotantomittakaavan mukaista informaatiota. Reduktioker toimien määrittämisessä on kokeneella käyttö- ja suunnitteluhenkilöstöllä erittäin suuri merkitys.

### 6. KAPEIDEN MALMIEN AVOLOUHINTA

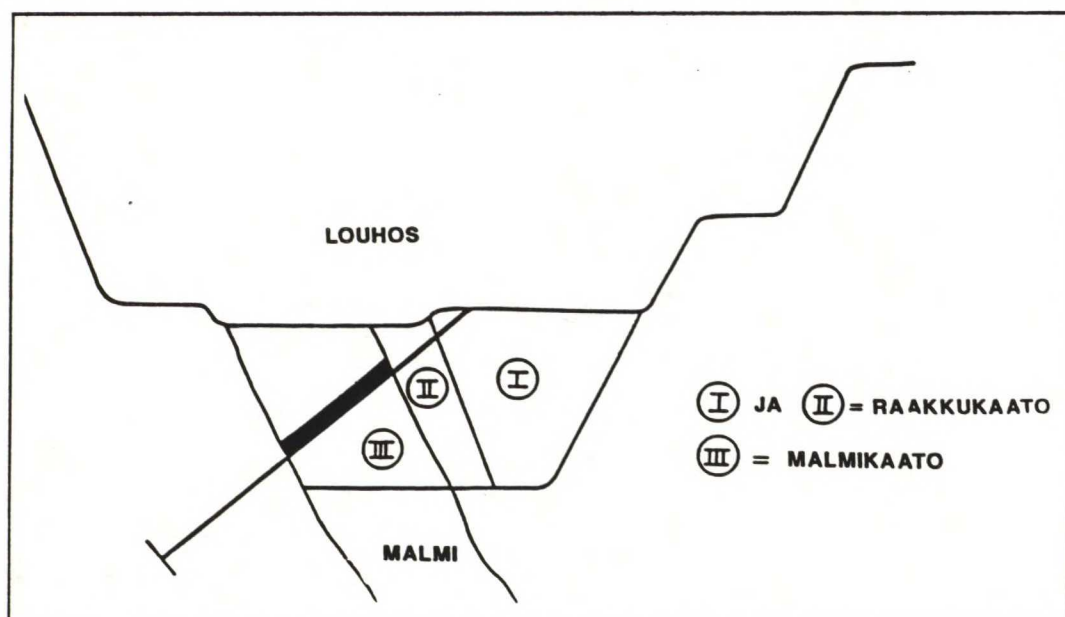
#### 6.1 Avolouhinnan erityispiirteet

Avolouhinta kapeissa ja pienissä malmeissa on raakkulaimennuksen kannalta hyvä menetelmä. Sen kustannukset



ovat pienet sekä sitä on helppo ohjata ja tutkia. Louhintamenetelmänä se vaatii vähän valmistelevia töitä verrattuna maanalaisiin menetelmiin. Lisäksi avolouhinnassa saadaan tarvittaessa tuotanto todella nopeasti käyntiin.

Perusperiaatteita avolouhinnan onnistumiselle on niinikään malmin ja sen rajojen huolellinen tutkimus. Tällöin selvitetään rajojen sijainti eri menetelmillä mahdollisimman tarkasti. Lisäksi usein saadun informaation perusteella on mahdollista räjäyttää kaadot siten, että raakku ja malmi räjäytetään erikseen. Samalla on kiinnitettävä huomiota lastauksessa pohjan puhdistukseen ennen malmikaadon räjäyttämistä/12/. Kapean malmin avolouhinnan järjestelyistä on esitetty periaatteellinen kaavio Kuvassa 13.



Kuva 13. Louhintajärjestys kapean malmin avolouhinnassa/12/.

## 6.2 Informaation hankinta

Avolouhinnassa on käytettävissä kaikki edellä esitetyt informaation hankintamenetelmät, niin kairaus inventointivaiheessa, kuin muut tuotantotutkimuksessa. Lisäksi on mahdollista tehdä näytteenottoa tuotantoporauksesta tai käyttää tuotantoreikien raportointia. Kapeilla malmeilla louhoksen koko jää pieneksi, jolloin niiden tutkiminen on helpompaa. Tutkimusreiät jäävät lyhyemmiksi ja virhelähteiden määrä vähenee. Tuotantotutkimuksessa saadaan myös tutkimuksen, suunnittelun ja tuotannon välinen viive



pienemmäksi kuin vastaavassa maanalaisessa louhinnassa.

Kairausta avolouhinnassa käytetään pääasiassa inventointivaiheessa ja ensimmäisten suunnitelmien tekemisessä. On osoittautunut, että 12,5 m:n profiiliväli on oikein sopiva informaatiotiheys. Tällöin saadaan riittävästi informaatiota luotettavan malmiarvion tekemiseksi ja samalla saadaan hyvä kuva malmin asennosta ja muodosta. Varsinaisia tarkennuskairauksia profiilien väliin ei kuitenkaan juurikaan enää kairata. Tällä informaatiotiheydellä pystytään tekemään maanpoisto ja aloittamaan raakunlouhinta.

Varsinaiset malminrajan tarkennukset ja ns. väliprofiilit tutkitaan pölyporauksella ja malminrajan kartoituksella penkereiltä. Pölyporaus suoritetaan periaatteiltaan samalla tavalla kuin soiaporaus. Ainoastaan näytteen keräämisessä on hiukan eroja/12/. Pölyporaus pitäisi suorittaa siten, että lävistys olisi mahdollisimman kohtisuoraan malmia vastaan. Riskinä pölyporauksessa on näytteen suurempi saastuminen mm. alakätisten reikien takia kuin soiaporauksessa. Tästä johtuen reikäpituudet jäävät lyhyemmiksi kuin soiaporauksessa.

Louhintarajan määrittämistä varten saadaan lisäksi informaatiota tuotantoporauksesta. Se voidaan järjestää siten, että otetaan vastaavasti pölynäyte kuten edellä tai sitten porari raportoi jokaisen reiän erikseen. Tällöin huomioidaan mm. tunkeutumisnopeutta ja soijan väriä. Tuotantoporauksesta saatavalla informaatiolla voidaan vielä korjata panostussuunnitelmaa ja jopa huomioida sisäraakkujen vaikutusta.

### 6.3 Louhinnan selektiivisyys

Edellämainituista tekijöistä johtuen avolouhinta on selektiivistä. Siinä voidaan oikealla tutkimuksella ja louhinnan suunnittelulla vaikuttaa raakkulaimennukseen erittäin paljon. Niinpä avolouhinnassa raakkulaimennuksen taso on n. 5%.

Selektiivisyyttä parantaa vielä panostussuunnitelmien viimeistely tuotantoporauksista saatavan informaation mukaan ja lisäksi voidaan vielä tehdä valikoivaa lastausta. Tällöin saadaan mahdolliset sisäraakutkin poimittua pois. Näillä keinoilla saattaa raakkulaimennus saada negatiivisia arvoja, toisin sanoen syötteen pitoisuus ylittää malmiarvion pitoisuuden.

## 7. OKP/RUOSTESUO

### 7.1. Yleisesittely

Ruostesuon esiintymä sijaitsee Kiuruvedellä Kalliokylän alueella. Ruostesuon louhokselta on matkaa n. 35 km Pyhäsalmen kaivokselle, jossa malmin rikastaminen tapahtui.

Ensimmäiset viitteet alueen malmikriittisyydestä saatiin jo v. 1959. Tämän jälkeen siellä on suoritettu vaihtelevasti aktiivisia tutkimuksia, joissa on alueella erotettu viisi eri malmilinssiä. Ruostesuon esiintymä on ollut niistä merkittävin.

Yleisgeologialtaan alue sijoittuu Savon liuskejakson luoteisosaan, jossa vallitsevina kivilajeina ovat kiillegneissit, suonigneissit, vulkaniitit ja granodioriittiset syväkivet/16/.

Ruostesuon malmi on massamainen karkearakeinen pyriittimagneettikiisumalmi, jossa on vaihtelevia määriä kuparikiisua ja sinkkivälkettä. Malmin kontaktit ympäristöön ovat terävät. Ruostesuon alustavaksi malmiarvioksi on tehty kaksi malmiarviota, toinen koko malmin osalle ja toinen avolouhosmallille + 50 tasolle asti.

**Taulukko 2.** Ruostesuon alustava malmiarvio/16/.

	Malmimäärä tn	Cu %	Zn %	S %
Koko malmi	1056000	0.32	2.73	30.60
Avolouhos	265000	0.38	2.65	32.90

#### 7.1.2 Tutkimusmenetelmät

Ruostesuon esiintymän tutkimukset malmin löytymisen jälkeen jakautuvat selkeästi kahteen vaiheeseen. Ensimmäisenä ennen louhinnan ja maanpoiston aloittamista on tehty inventointikairaukset. Ne on suoritettu kallionäytekairauksena 12.5 m:n profiiliväleihin. Inventointikairauksen perusteella on tehty parhaan geologisen tiedon mukaan alustava malmimalli malmiarviota ja louhintasuunnitelmia varten.

Malmimallia on myöhemmin vielä tarkennettu lisäkairauksilla. Niitä on tehty silloin, kun on ollut esimerkiksi



vaikeuksia selvittää malmin jatkuvuutta eri profiilien tai lävistysten välillä. Liitteessä 1 on esitetty tutkimusverkko Ruostesuon esiintymän tutkimuksista.

Toisena vaiheena on suoritettu tuotantotutkimukset. Niiden tavoitteena on ollut täydentää inventointikairaus-ten antamia malminrajoja siten, että ne tunnetaan riittävän hyvin raakkulaimennuksen ja malmitappioiden minimoimiseksi. Vastaavasti tavoitteena on ollut saada mahdollisimman luotettava tuotantoennuste.

Tuotantotutkimus tehtiin pääasiassa soijaporaamalla ja malminrajan kartoituksella tasoilta. Soijaporauksella yleensä puolitettiin 12.5 m:n profiilivälit. Lisäksi louhinnan aikana tehtiin tuotantoreikäraportointia, jossa pystytettiin porasoijan väristä ja tunkeutumisnopeudesta päättelemään malminrajan sijaintia. Tämä menetelmä kartoituksen kanssa osoittautui erittäin tehokkaaksi apuvälineeksi tuotannon ohjauksessa.

## 7.2 Tutkimukset

Ruostesuon esiintymän malminrajojen luotettavuuden tutkimuksissa vertailtiin malmiarviossa kairausten perusteella piirrettyjä profiileja ja tasoleikkauksia louhinnan aikana kartoitusten ja tuotantoporauksen raportoinnin antaman informaation perusteella määriteltäviin rajoihin. Vertailu tehtiin sekä tasoleikkauksille että profiileille.

Tämän vertailun avulla oli tarkoitus selvittää malmiarvion ja ennustettujen malmin rajojen erot toteutuneeseen louhintatulokseen ja louhinnan aikana tarkennettuihin malminrajoihin. Malmiarvion luotettavuuden arvioinnissa pitäydyttiin vain malmin määrän arviointiin. Syötteen pitoisuuden eroja ennustettuihin ei selvitetty tarkemmin, koska se olisi ollut osittain myös mahdotonta. Tämä johtui siitä, että pitoisuusvaihtelut olivat erittäin pienet 0.05 - 0.1% Zn.

### 7.2.2 Malmiarvion luotettavuuden arviointi

Kuten edellä mainittiin Ruostesuon esiintymän malmiarvion luotettavuuden arvioinnissa pitäydyttiin vain malminmäärän arviointiin puuttumatta pitoisuuksiin lainkaan. Malmiarvio tehtiin jo louhitun louhoksen toteutuneiden mittojen ja alkuperäisten profiilien perusteella piirrettyjen tasoleikkausten mukaan.



Malmiarviot tehtiin digitoimalla Intip Oy:n mittausohjelmistolla profiilien tai tasoleikkauksen pinta-ala. Tilavuus laskettiin ottamalla kahden leikkauksen väli vaikutusmatkaksi ja pinta-alaksi ko. leikkauksien keskiarvo. Malmin ominaispainona käytettiin 3.92 t/m<sup>3</sup>. Malmiarviosta saatiin seuraavat arvot.

Taulukko 3. Malmiarvio profiilien perusteella

PROF.NO	P-ALA	P-ALA	KA	VAIKUTUSM	TILAVUUS	TONNIT
18725.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	
18737.5	19.7	9.8	12.5	123.1	482.4	
18750.0	195.7	107.7	12.5	1346.2	5277.1	
18755.0	305.0	250.3	5.0	1251.7	4906.6	
18762.5	395.9	350.4	7.5	2628.2	10302.6	
18766.0	447.8	421.9	3.5	1476.5	5787.8	
18775.0	478.5	463.2	9.0	4168.4	16339.9	
18780.0	369.4	423.9	5.0	2119.6	8308.9	
18787.5	502.8	436.1	7.5	3270.5	12820.3	
18793.0	579.9	541.3	5.5	2977.3	11671.2	
18800.0	622.6	601.2	7.0	4208.6	16497.9	
18806.0	392.2	507.4	6.0	3044.2	11933.3	
18812.5	221.0	306.6	6.5	1992.7	7811.5	
18825.0	91.3	156.1	12.5	1951.4	7649.6	
18837.5	190.6	140.9	12.5	1761.8	6906.1	
18845.0	499.0	344.8	7.5	2586.0	10137.0	
18850.0	477.2	488.1	5.0	2440.3	9566.1	
18860.0	488.7	483.0	10.0	4829.6	18931.8	
18862.5	403.8	446.3	2.5	1115.7	4373.4	
18870.0	87.1	245.4	7.5	1840.7	7215.5	
18875.0	288.6	187.8	5.0	939.1	3681.1	
18883.0	19.2	153.9	8.0	1231.2	4826.1	
18887.5	75.6	47.4	4.5	213.3	836.0	
18900.0	35.7	55.6	12.5	695.4	2725.9	
18910.0	0.0	17.9	10.0	178.5	699.7	
YHTEENSÄ					48389.8	189687.9

Alkuperäinen malmiarvio oli 204000 t. Tästä havaitaan, että tasoleikkauksien perusteella tehdyssä arviossa on eroa 1,5 % ja profiilien perusteella eroa on 7.1%. Siis tasoleikkausten perusteella malmiarvio on riittävän tarkasti oikea ja profiilien perusteella laskettu malmiarvio on jo jonkin verran alhaisempi. Syyksi tähän virheeseen arveltiin louhoksen päätyjen tilavuuden vaikeahko arviointi.





Taulukko 6. Tarkistettu malmiarvio profiilien perusteella.

PROF.NO	P-ALA	P-ALA	KA	VAIKUTUSM	TILAVUUS	TONNIT
18725.0	24.0	12.0	4.0	48.0	188.2	
18737.5	25.5	24.7	12.5	309.3	1212.5	
18750.0	185.6	105.5	12.5	1319.3	5171.5	
18755.0	256.4	221.0	5.0	1105.0	4331.4	
18762.5	409.7	333.0	7.5	2497.8	9791.5	
18766.0	532.8	471.2	3.5	1649.3	6465.3	
18775.0	549.5	541.1	9.0	4870.3	19091.6	
18780.0	513.2	531.4	5.0	2656.8	10414.8	
18787.5	573.9	543.6	7.5	4076.8	15981.0	
18793.0	649.2	611.5	5.5	3363.5	13184.8	
18800.0	634.6	641.9	7.0	4493.0	17612.5	
18806.0	496.2	565.4	6.0	3392.4	13298.2	
18812.5	301.2	398.7	6.5	2591.6	10158.9	
18825.0	115.5	208.4	12.5	2604.4	10209.2	
18837.5	183.9	149.7	12.5	1871.5	7336.3	
18845.0	387.0	285.5	7.5	2141.0	8392.5	
18850.0	541.7	464.4	5.0	2321.8	9101.5	
18860.0	708.5	625.1	10.0	6250.8	24502.9	
18862.5	557.2	632.8	2.5	1582.1	6201.6	
18870.0	391.6	474.4	7.5	3558.1	13947.8	
18875.0	297.6	344.6	5.0	1723.1	6754.7	
18883.0	40.6	169.1	8.0	1352.6	5302.3	
18887.5	79.9	60.2	4.5	271.1	1062.5	
18900.0	46.9	63.4	12.5	792.5	3106.6	
18910.0	0.0	23.4	10.0	234.4	918.8	
=====						
YHTEENSÄ				57076.2	223738.9	

Ruostesuon louhoksen kokonaistuotanto oli 238420 t malmia. Lisäksi on huomioitava malmitappio, joka kokonaisuudessaan sijoittuu louhoksen vierelle sijoitetulle raakkukasa II:lle. Raakkukasalle on joutunut raakun mukana arvioihin ja analyysihin perustuen 8500 t hienojakoista 47,2% -53 mm malmipitoista kiviainesta. Näiden lukujen perusteella Ruostesuolla louhitut malmivarat olivat n. 246920 t in situ.

Tarkistetun malmiarvion mukaan profiileista laskettuna saatiin 224000t ja tasoleikkauksista 232000 t. Eroksi saatiin tällöin vastaavasti 9.2% ja 5.9% toteutuneesta malmivarannosta.

Ero toteutuneiden malmivarojen ja tarkistetun malmiarvion välillä aiheutti uudelleen arviointia malmin ominaispaineen suuruudesta ja pohdintoja tarkistettujen malmin-



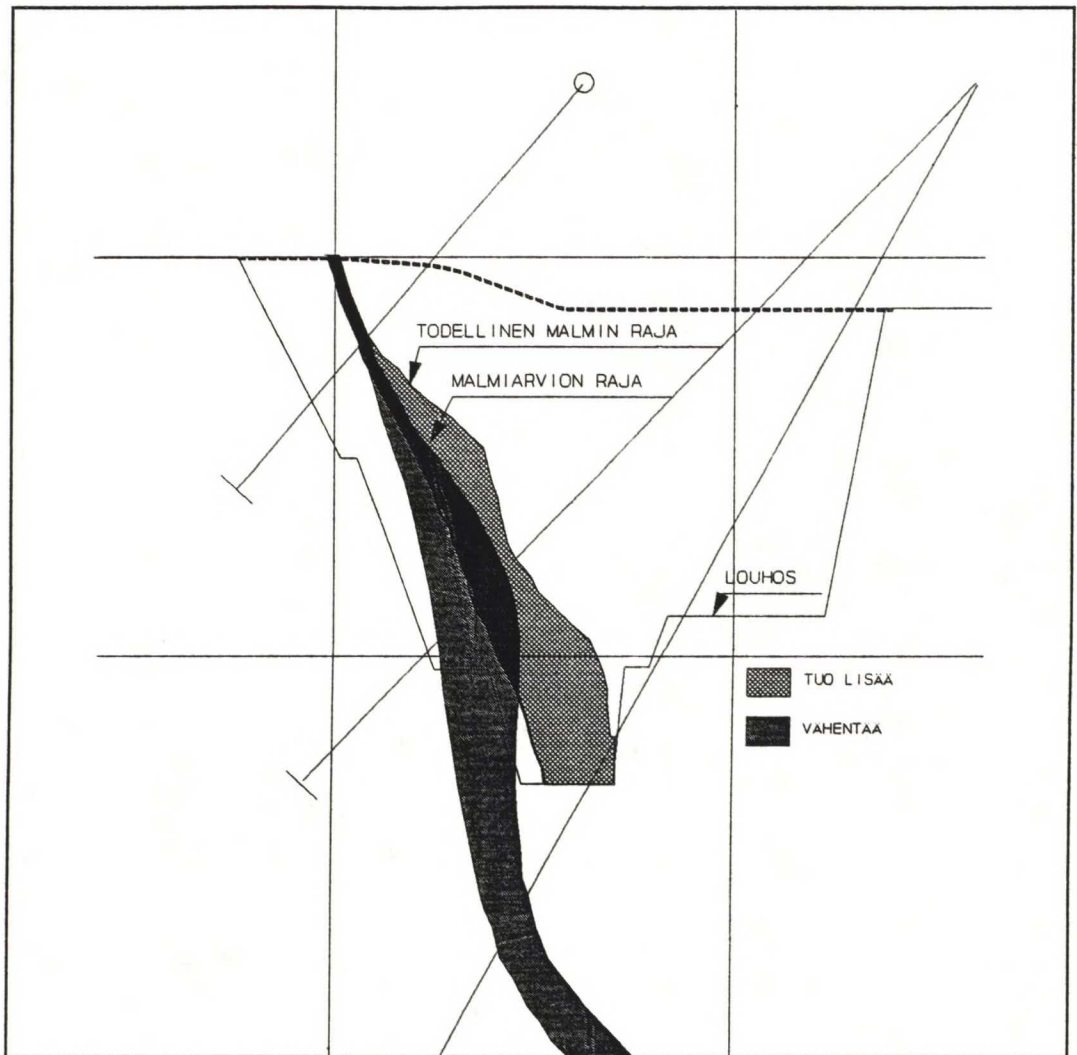
rajojen paikkansapitävyydestä. Ominaispainosta todettiin, että se todennäköisesti kasvaa hiukan mutta uudesta arvosta ei toistaiseksi esitetty arviota. Vastaavasti on tuloksista yleisesti havaittavissa, että todellisella malmin määrällä on taipumus olla hiukan suurempi kuin malmiarviossa on arvioitu. Tällöin voidaan olettaa, että tarkistettu malmiarvio on myös hiukan aliarvioitu. Tätä voidaan perustella sillä, että tässäkin tapauksessa malmin rajat ovat vain arvio, joskin huomattavasti tarkempi. Virhelähteet ovat yhä olemassa ja niiden voisi olettaa aliarvostavan malmin määrän tarkistetussa malmiarviossa.

### 7.2.2 Malmin rajat

Malmiarvion tutkimisen yhteydessä selvitettiin myös geologin inventointivaiheessa piirtämien malminrajojen luotettavuutta. Malminrajojen luotettavuuden määrittämisellä ja arvioinnilla pyrittiin selvittämään geologisen raakkulaimennuksen syitä ja osoittaa, että sitä esiintyy johtuen nimenomaan geologisen informaation riittämättömyydestä ja tulokinnan virheellisyydestä.

Ruostesuon esiintymä on muodoltaan erittäin monimutkainen ja vaihteleva. Se oli myös tiedossa jo tutkimuksia ja malmiarviota tehtäessä. Osittain näistä syistä jouduttiin tekemään varovainen malmiarvio, joka mielummin hiukan aliarvioisi malminmäärän. Louhinnan edetessä todettiin kuitenkin, että malmin rajat osoittautuivat vielä oletettua monimutkaisimmiksi. Nämä vaihtelut esiintyivät nimenomaan malmin kattopuolella. Samalla todettiin, että oletetut väliraakut osoittautuivat malmiksi, joista tuli tarkistettuun malmiarvioon lisää malmia.

Malmin rajojen epätarkkuutta arvioitiin siten, että kar-toitetun malminrajan ja alkuperäisen malmiarvion rajan väliin jäävä ala mitattiin erikseen sekä malmin katto- että jalkapuolelta. Alkuperäisestä malmiarviosta eroava ala määritettiin + tai - merkkiseksi sen mukaan tuleeko malmiarvioon lisää vai pieneneekö se. Teoriassa + merkki-nen ala merkitsisi malmitappiota ja - merkkinen raakku-laimennusta, jos louhittaisiin tarkasti oletettujen malminrajojen mukaan. Vastaavasti arvioitiin erikseen sisäraakut ja erilliset malmilinssit. Tämän jälkeen las-kettiin poikkeamien aiheuttamat malmitappiot ja raakku-laimennus malmiarviosta. Tällä tavalla laskettuna geo-logisen raakkulaimennuksen suuruus olisi ollut 13 - 14 % ja malmitappioiden 23 - 24 % (liite 2 ja 3).



Kuva 14. Ruostesuon profiili

### 7.3 Raakkulaimennus ja malmitappio Ruostesuon louhoksella

Ruostesuon sateliittimalmin louhinta onnistui hyvin huolimatta varsin huomattavista malmin muodon muutoksista verrattuna ennustettuihin. Tähän vaikutti se, että avolouhinnasta johtuen päästiin määrittämään malminraja ja louhintaraja käytännössä jokaista kaatoa varten erikseen. Lisäksi malmitappiot ja raakkulaimennus jäivät suunniteltua pienemmiksi, koska voitiin räjäyttää puhtaita malmikaatoja oletettua enemmän.

Toteutuneet tulokset Ruostesuon louhoksesta olivat 0.29% Cu, 2.76% Zn ja 31.12% S. Malmiarviossa vastaavat luvut olivat 0.36% Cu, 2.75% Zn ja 32.96% S. Näiden arvojen perusteella raakkulaimennus on Cu 19%, Zn 0% ja S 5.6%.



Kuparin suuri pitoisuuden alenema johtui siitä, että lastausvaiheessa on valikoitu raakkuja pois ja kupari oli sijoittunut usein sisäraakkuihin. Vastaavasti sinkin pitoisuus syötteessä on noussut hiukan ja rikki toteutti ennustettua pitoisuutta kohtuullisen hyvin.

Malmitappio muodostui lähinnä siitä, että malmin erittäin mutkikkaiden rajojen vuoksi jouduttiin ottamaan sekakaatoja. Tällöin raakkuvaltaisesta louheesta poimittiin isoimmat malmilohkareet pois ja hienompi aines joutui raakun mukana raakkukasa II:lle. Välivarastolla tapahtunut puhdistus vei sekakiviä raakkuun. Sen määrää voidaan kuitenkin pitää erittäin pienenä.

Malmitappioiden kokonaisarvoksi on arvioitu n. 5%. Louhinnan aikaisen kartoituksen ja porareikäraportoinnin ansiosta voidaan todeta, että se ei johtunut geologisen informaation puutteellisuudesta tai virheellisyydestä.

#### 7.4 Valikoivan lastauksen merkitys

Tällaisessa pienen sateliittimalmin avolouhinnassa huolellinen lastaus osoittautui yllättävän tärkeäksi tekijäksi niin raakkulaimennuksen kuin malmitappioiden torjunnassa. Lastaus tapahtui kaksivaiheisena siten, että louhoksessa lastattiin dumpperiin, joka nosti malmin välivarastolle. Välivarastolla lastattiin malmi kasettiperävaunulliseen rekkaan, jolla malmi kuljetettiin Pyhäsalmen kaivokselle rikastettavaksi.

Louhoksella tapahtuvassa lastauksessa ei varsinaisesti valikoitu malmilohkareita, vaan lastaaja lastatessaan dumpperiin päätti onko koko kauha malmia vai raakkuja. Sitten välivarastolla poimitiin raakkulohkareet pois tarvittaessa vaikka lohkar kerrallaan. Poimittavat lohkarit useimmiten merkittiin maalilla töitä valvovan geologin toimesta. Välivarastolla poimitiin arvion mukaan pois 1 - 5% kokonaismäärästä.

Karkean arvion mukaan Ruostesuon louhoksella raakkulaimennusta pienennettiin n. 2% valikoivan lastauksen ansiosta. Toisaalta myös malmitappioita voitiin pienentää puhdistamalla huonoakin tavaraa.

#### 7.5 Johtopäätökset

Ruostesuon esiintymästä suoritettut esitutkimukset ennen louhintapäätöksen tekemistä olivat riittävät. Em. tiedoilla pystyttiin ennustamaan malmivarat ja



pitoisuudet varsin tarkasti. Lisäksi informaatiota on pidettävä riittävänä alustavien louhintasuunnitelmien tekemiseksi. Tutkimustiheyden lisäämistä ei voi tässä tapauksessa suosittaa, koska malmin geometrisen monimutkaisuuden takia olisi esimerkiksi lisäkairauksien tuoma hyöty ollut kyseenalainen. Vastaavasti oli havaittavissa vaakasuorien soi-japorausreikien tulosten erittäin paha 'saastuminen' ja niistä saatavan informaation virheel-lisyys. Tällä tutkimustiheydellä voidaan varsin luotet-tavasti määrittää malmin määrä ja pitoisuudet, mutta malmin rajojen luotettavaan määrittämiseen siitä ei ole.

Louhinnan aikainen tuotannonohjaus, malmin- ja louhin-tarajan määrittäminen tapahtui kartoittamalla malminraja penkereiltä ja raportoimalla jokainen louhintareikä. Kartoitetut rajat olivat suorastaan liian tarkat tämän tyyppiseen louhintaan ja lisäksi ongelmia aiheutti malminrajan nopea vaihtelu jo muutaman metrin matkalla. Myöhemmin louhinnan edistyessä opittiin malmin käyttäyty-misen paremmalla tuntemisella ennustamaan missä malmin raja oli 5 m alempana.

Louhintareikäraporteista oli erittäin paljon hyötyä sekä louhintarajan että malminrajan määrittämisessä. Tämä menetelmä tosin vaatii erittäin kokeneen porarin tai jatkuvaa porauksen valvontaa. Porareiden vaihtuvuus oli huomattava ja se jossain määrin aiheutti vaikeuksia. Louhintareikien raportointi on halpa, varsin hyvä ja luotettava menetelmä louhintarajojen määrittämiseen. Se on erittäin suositeltavaa silloin, kun se on mahdollista kuten tämän tyyppisissä malmeissa, joissa malmin ja raakun kontakti on suhteellisen terävä ja niiden ominaisuudet ovat riittävän erilaiset.

## 8. KAPEIDEN MALMIEN MAANALAINEN LOUHINTA

Kapeille malmeille soveltuville louhintamenetelmille jako voidaan suorittaa seuraavasti/17/.

### Avoimet menetelmät

Pitkittäinen välitasolouhinta  
Makasiinilouhinta  
Vein Mining

### Täyttömenetelmät

Pengertäyttölouhinta  
Cut and Fill

Nämä menetelmät on rajattu siten, että ne sopivat kapeiden ja pystyjen malmien louhintaan. Menetelmät ovat sinällään jo sovellutuksia alkuperäisistä menetelmistä. Alunperin nämä menetelmät oli tarkoitettu lähes poikkeuksetta suuremmille esiintymille ja tällöin määräävinä ja tekijöinä olivat lähinnä erilaiset kalliomekaaniset ja louhintatekniset olosuhteet. Vein Mining on sellaisenaan kehitetty kapeille malmeille.

Avoimet menetelmät soveltuvat parhaiten käytettäväksi lujissa kivilajeissa ja hyvissä kalliomekaanisissa olosuhteissa. Lähtökohtana on se, että louhoksen katto ja seinät pysyvät sortumatta ainakin louhinnan ajan/18/.

Täyttömenetelmiä käytetään silloin, kun kalliomekaaniset olosuhteet ovat vaikeammat. Tällöin mm. louhoskoko on usein pienempi ja lisäksi käytetään erilaisia lujitusmenetelmiä kuten vaijeripulttitusta.

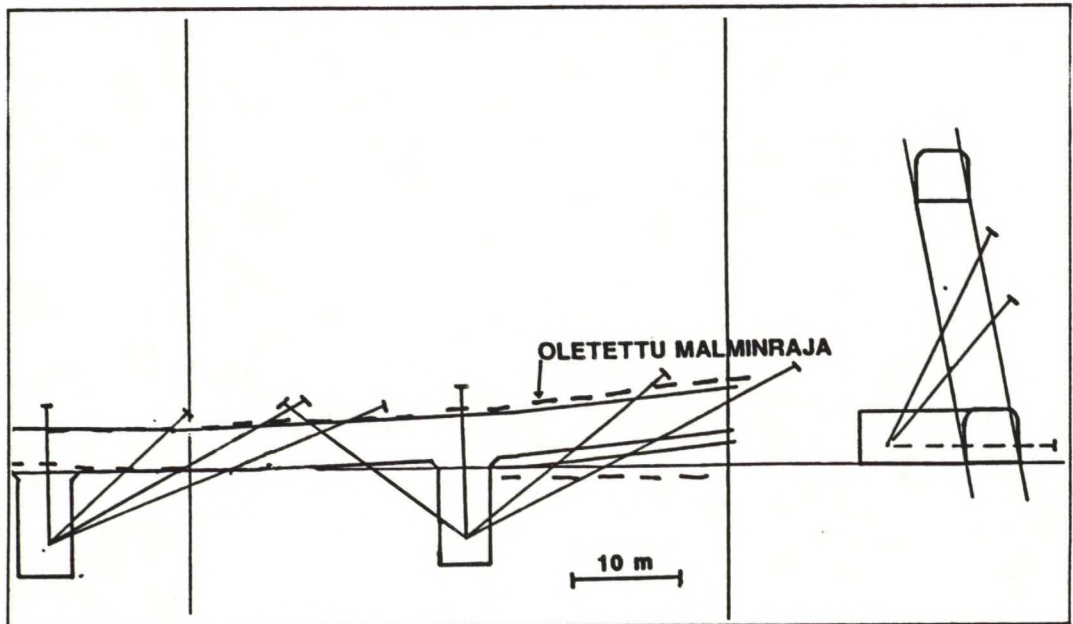
### 8.1 Välitasolouhinta

Pitkittäinen välitasolouhinta on sovellutus välitasolouhinnasta. Se toimii varsin hyvin kapeiden pystyjen malmien louhinnassa. Se on yleisin menetelmä, kun on kyse kapeiden malmien mekanisoidusta louhinnasta/19/. Kun käytetään pientä etäisyyttä välitasojen välillä, voidaan kapeita malmeja louhia varsin hyvin. Lisäksi käytettäessä systemaattista esilujitusta vaijeripulttituksella menetelmästä saadaan varsin selektiivinen.

Tuotantotutkimus on vaikeaa silloin, kun malmin vierelle ei ajeta kuljetusperää, josta esimerkiksi soijaporauksen voi suorittaa. Eräs vaihtoehto tällöin on tehdä erityisiä tutkimuskuprikoita, joista kairataan tai soijaporataan vaakaviuhkoja malminrajojen tutkimiseksi. Tämä etenkin silloin, kun malmin vierellä ei ole edes vinoajotietä,



josta tutkimisen voisi suorittaa. Kuvassa 15. on esitetty kaavio malmin tutkimiseksi vaakaviuhkojen avulla tasolta.



Kuva 15. Kapean malmin tutkiminen vaakaviuhkojen avulla.

Näihin tutkimusjärjestelyihin joudutaan menemään erityisesti silloin, kun malmin arvo on niin pieni, että malmin vierelle jokaiselle tasolle ei voida ajaa yhdistettyä tutkimus- ja kuljetusperää. Toisaalta vastaavasti on saavutettavissa huomattavia säästöjä mikäli voidaan kehittää sellainen luotettava tutkimusmenetelmä, joka mahdollistaisi valmistavien töiden vähentämisen tältä osin.

## 8.2 Makasiinilouhinta

Makasiinilouhinnassa voidaan tuotantotutkimus ja erityisesti malminrajojen tarkka määrittäminen toteuttaa varsin helposti kartoituksen avulla. Menetelmässä joudutaan tällöin käyttämään kartoittajaa koko ajan tuotannonohjauksessa.

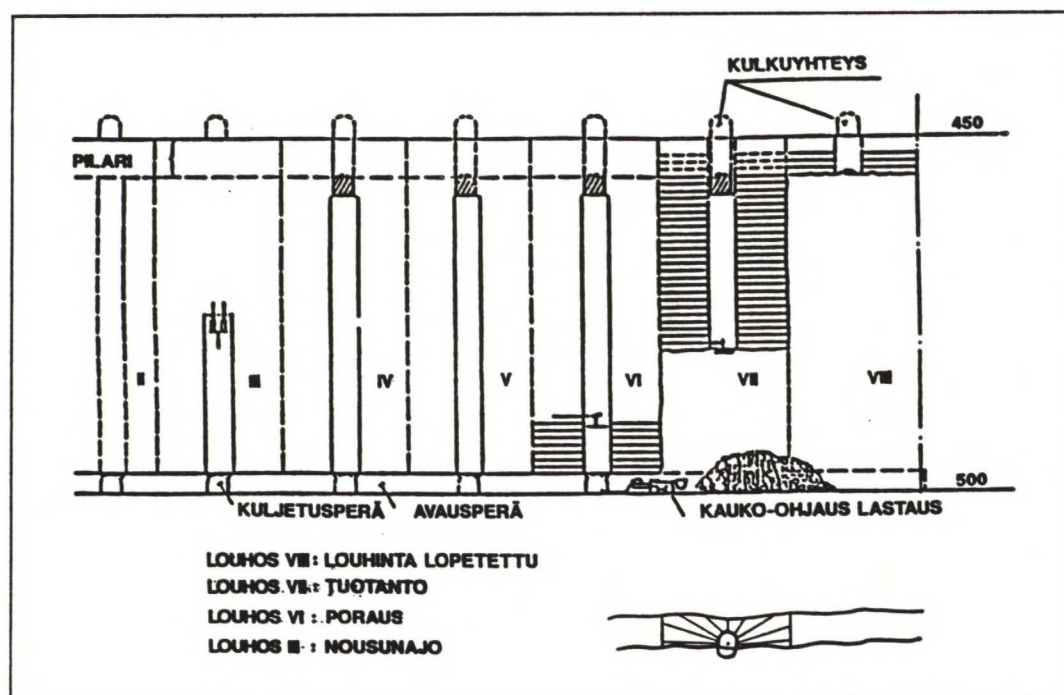
Menetelmän mekanisointi ja kapasiteetin nosto kapeissa malmeissa ovat osoittautuneet erittäin vaikeiksi toteuttaa. Kunnollisten kulkuyhteyksien järjestäminen on vaikeaa ellei peräti mahdotonta. Lisäksi ongelmana on varsin pitkä viive louhoksen avauksesta tyhjennyslastaukseen, jolloin sortumariski ja raakkulaimennus kasvavat. Menetelmä ei ole Suomessa käytössä/19/.



### 8.3 Vein Mining

Vein Mining, josta käytetään myös nimitystä Raise Mining on eräs harvoista louhintamenetelmistä, joka on alunperin kehitetty kapeiden malmien mekanisoituun louhintaan. Se on varsin suuren kapasiteetin omaava menetelmä, mutta vaatii varsin paljon valmistavia töitä ja kulkuyhteyksiä.

Kyseisessä louhintamenetelmässä tutkimus tapahtuu varsin normaalin proseduurin mukaisesti. Tasovälit ovat usein suuret ja tällöin saattaa esimerkiksi soijaporauksen käyttö rajoittua. Vastaavasti reikägeofysiikan käyttö on mahdollista porausviuhkoissa, jolloin päästään tarkistamaan malmin rajan sijainti ennen panostusta. Tuotantoporaus tapahtuu kohtisuoraan malminrajaa vastaan, mikä aiheuttaa varmasti ryöstöjä malmikontaktissa. Kuvassa 16 on esitetty kaavio Vein Mining:sta ja viuhkojen sijoitumisesta malmiin nähden.

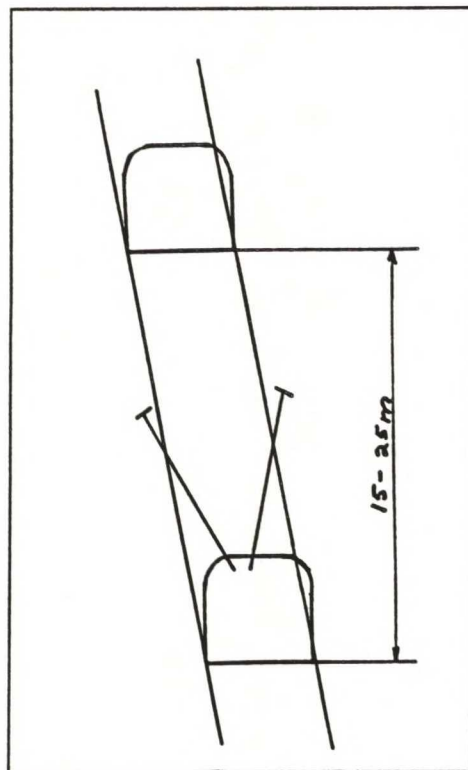


Kuva 16. Vein Mining

### 8.4 Pengertäyttölouhinta

Pengertäyttölouhinta on tukemis- ja täyttötekniikoihin perustuva louhintamenetelmä. Menetelmää käytetään silloin, kun kalliomekaaniset olosuhteet ovat vaikeat. Lisäksi usein malmin arvo on niin pieni, että perinteisen Cut and Fill:n käyttö ei onnistu lähinnä kapasiteettivaatimusten takia.

Pengertäyttölouhinnassa tuotantotutkimus tapahtuu samojen periaatteiden mukaisesti kuin välitasolouhinnassa. Tutkimus on niinikään vaikeaa, jos käytettävissä ei ole malmin vierellä kulkevaa kuljetusperää. Kuitenkin useimmissa tapauksissa on käytettävissä edellä mainittu yhteys. Toisaalta pengertäyttölouhinnassa tasoväli on usein niin pieni, että soijspxorausta voidaan tehdä riittävän tiheään malmista ulospäin poraamalla kuvan 17 mukaan.



Kuva 17.  
Soijspxoraus kapeassa  
malmissa.

### 8.5 Cut and Fill

Perinteinen Cut and Fill on myöskin erilaisiin tukemis- ja täyttötekniikoihin perustuva menetelmä. Se soveltuu käytettäväksi erityisesti kapeissa malmeissa erittäin vaikeiden kalliomekaanisten olosuhteiden vallitessa. Käyttökustannuksiltaan CAF on kallis ja sen kapasiteetti on varsin huono. Joissakin tapauksissa perinteisestä täyttölouhinnasta on voitu siirtyä pengertäyttölouhintaan lähinnä tukemistekniikan kehittymisen ansiosta.

Tutkimisen kannalta Cut and Fill on suhteellisen helppo menetelmä, koska louhoskoko on pieni ja tällöin ei tarvita niin paljoa näytteenottoa ennakolta kuin muissa menetelmissä/20/. Tuotantotutkimus voidaan suorittaa kartoittamalla ja mahdollisesti uranäytteenotolla.



Informaatiotiheys saadaan suureksi ja se saadaan periaatteessa jokaiselle katkolle erikseen.

Menetelmä on sovelias silloin, kun malmi on erittäin monimutkainen ja laajamittakaavaiset menetelmät aiheuttavat suuren laimennuksen. Louhinnan onnistumiselle on tärkeää, että suunnittelu, tuotannonohjaus ja näytteenotto tehdään huolellisesti. Tällöin saavutetaan pienin raakkulaimennus verrattuna muihin menetelmiin/20/.

#### 8.6 Esimerkki raakkulaimennuksen pienentämisestä

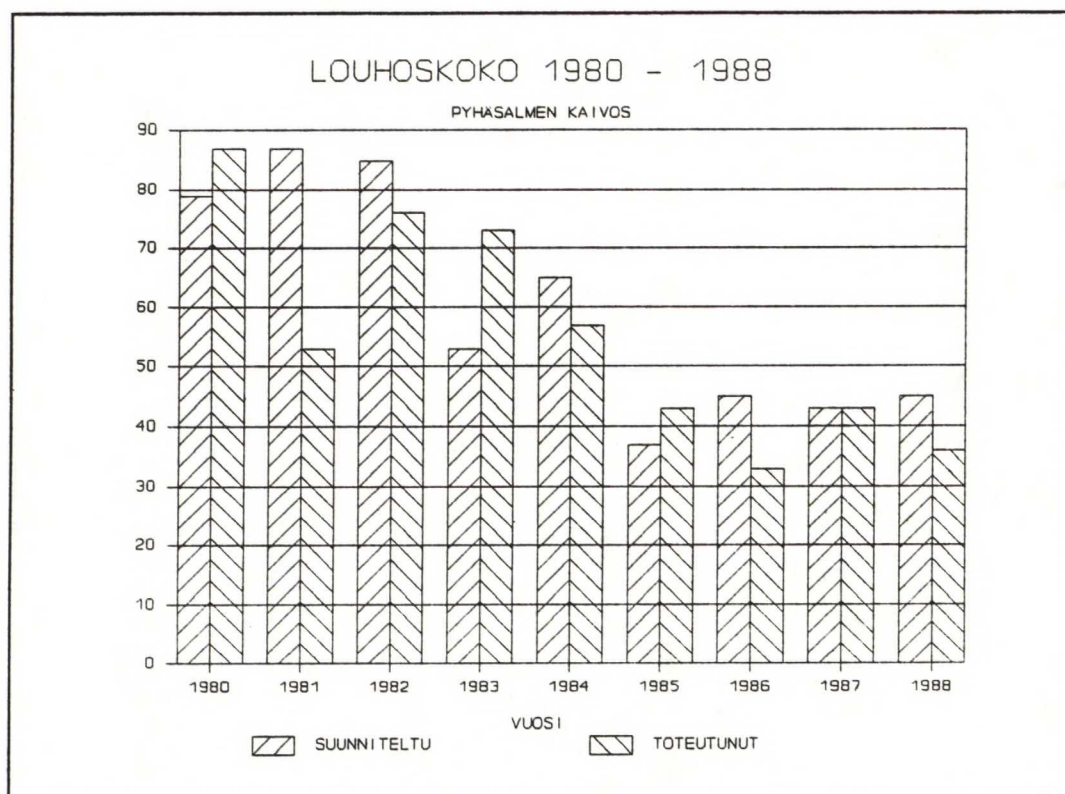
Pyhäsalmen kaivoksella raakkulaimennuksen taso oli 1980-luvun alussa 25 - 30%. Eniten ongelmia aiheuttivat erittäin korkeat jännitystilat ja erityisesti malmin kontaktissa olevien sivukivien huono pysyvyys. Lisäksi osa raakkulaimennuksesta syntyi geologisen informaation riittämättömyydestä. Malmin arvo oli pieni ja suuri pitoisuusalenema aiheutti vaikeuksia kaivokselle ja sen tulevaisuudelle. Esitettävillä menetelmillä raakkulaimennusta pienennettiin aina 6%:iin asti.

Menetelmät raakkulaimennuksen pienentämiseksi jakautuivat kahteen osaan. Ensimmäisenä vaiheena oli louhinnan suunnittelun ja tekniikan kehittäminen ja vastaavasti geologisen informaation tarkentaminen. Tämän lisäksi ryhdyttiin seuraamaan ja raportoimaan raakkulaimennusta tuotantoraporteissa/21/.

Louhintateknisen raakkulaimennuksen ja sortumien vähentäminen perustuu louhinnansuunnittelun järjestelyihin. Ensin tehdään alustava suunnitelma, johon saadaan geologeilta vahvistus geologisen informaation osalta. Vasta tämän jälkeen laaditaan lopulliset suunnitelmat ja tehdään lujitus suunnitelma louhokselle.

Vastaavasti louhintamenetelmiä kehitettiin siten, että pystytään poraamaan yhdensuuntaisia reikiä malmin kontaktin kanssa. Tällöin voidaan käyttää kevennettyä panostusta ja louhoksen seinämien 'silolouhintaa'. Lisäksi louhoskokoa pienennettiin ja vastaavasti louhoksen läpimenoaika avauksesta täyttöön pieneni. Osittain louhoskokojen pieneminen johtui pengertäyttölouhinnan aloittamisesta v. 1984 - 85 kaivoksen syvimmissä osissa. Samanaikaisesti kehitettiin lujitusmenetelmiä ja lisättiin huomattavasti vaijeripulttitusta, verkotusta ja ruiskubetonointia. Vastaavasti kehitettiin jännityksenpäästömenetelmiä (rakolouhokset) alueilla, joissa on hyvin korkeat jännitystilat.

Geologisen raakkulaimennuksen pienentäminen keskittyi informaatiotiheyden lisäämiseen ja tarkentamiseen sekä mittaus- että porausteknisiin menetelmiin. Informaatiotiheys kaksinkertaistui ja kairausmäärät kasvoi 1607 m/vuosi (v.1980) aina 5534 m:iin (v.1988). Vastaavasti soiaporaus lisääntyi 4279 m:stä 13791 m:iin/21/. Lisäksi aloitettiin ohjuritankojen käyttö soiaporauksessa ja samalla ryhdyttiin mittaamaan soiwareikien lähtökulmat rutiininomaisesti porauksen jälkeen. Geologien sekä suunnittelu- ja tuotantohenkilökunnan yhteistyötä lisättiin. Tällä varmistetaan, että geologinen informaatio siirtyy varmasti oikein louhinnan suunnittelulle.



**Kuva 18.** Louhoskokojen muutos Pyhäsalmen kaivoksella/21/.



## 9. VISCARIA

### 9.1 Yleisesittely

Viscarian kaivos sijaitsee Pohjois-Ruotsissa n. 5 km Kiirunasta länteen. Esiintymä löydettiin, tutkittiin ja valmistavat työt tehtiin LKAB:n toimesta vuosien 1972-1982 aikana/22/. Kaivoksen tuotanto käynnistyi keväällä -82. Viscaria AB siirtyi Outokumpu Oy:n omistukseen v. 1986. Nykyään Viscaria AB on organisoitu tytäryhtiönä Outokumpu Metals & Resource Oy:n alaisuuteen.

#### 9.1.1 Geologia

Viscarian esiintymä on n. 3.5 km pitkä mineralisaatio. Se jakautuu kahteen korkeapitoiseen vyöhykkeeseen, jotka erottaa n. 500 m:n pituinen matalapitopisempi alue. Kaikkiaan tunnetaan A, B, C, ja D mineralisaatiot Viscarian esiintymässä, mutta vain A vyöhykkeellä on taloudellisesti louhintakelpoisia malmivaroja/23/,/24/.

A-vyöhyke (liite 4 ja 5) jakautuu pohjois-, keski-, A- ja P-malmeihin. Esiintymän keskipaksuus on 30 m kaateen ollessa 40 - 90 . Se koostuu sedimenttisistä kerrostuneista vulkaniiteista, kalkkikivestä ja grafiitista. Kalkkikivi on isäntäkivenä kuparille ja grafiitissa on myös vaihtelevia kuparipitoisuuksia. Pitoisuus malmissa vaihtelee 2 - 7 % Cu. Malmin paksuus on 4 - 20 m keskiarvon ollessa 5 - 8 m. Lisäksi on huomattava, että malmin paksuimmat osat sijoittuvat A- ja P-malmiin.

Viscarian esiintymän todetut malmivarat 20.09.1989 tilanteen mukaan olivat /25/.

A- ja P-malmi	2.5 Mt	3.8% Cu
N-malmi	0.4 Mt	2.4% Cu
Muut	0.4 Mt	4.7% Cu

Malmiarvion block cut-off:na on käytetty 1.8 % Cu, paitsi syvimmissä malmin osissa se on 2.0 % Cu. Lisäksi sivu-cut-off:na on ollut 1.2 % Cu. Malmin minimileveydeksi on määritetty 4.0 m. Ainoastaan P-malmi on syvyydestä avoin, muut malmin osat katsotaan tunnetuiksi malmivaroiltaan.

Cut-off pitoisuudet muuttuivat v. 1990 alussa siten, että block cut-off nousi 3.0 %:iin ja P-malmissa 4.0 %:iin. Sivu-cut-off nousi 1.6 %:iin. Malmiarvio muuttune

uusilla cut-off pitoisuuksilla laskettaessa. Viscarian kaivoksen aktivoidut malmivarat ja louhintasuunnitelma vuosille 1990 - 92 ovat taulukon 7 mukaan.

**Taulukko 7.** Viscarian tuotantosuunnitelma

Vuosi	Tuotanto (Kt)	Pitoisuus (% Cu)
1990	720	2.8
1991	630	2.9
1992	480	3.0

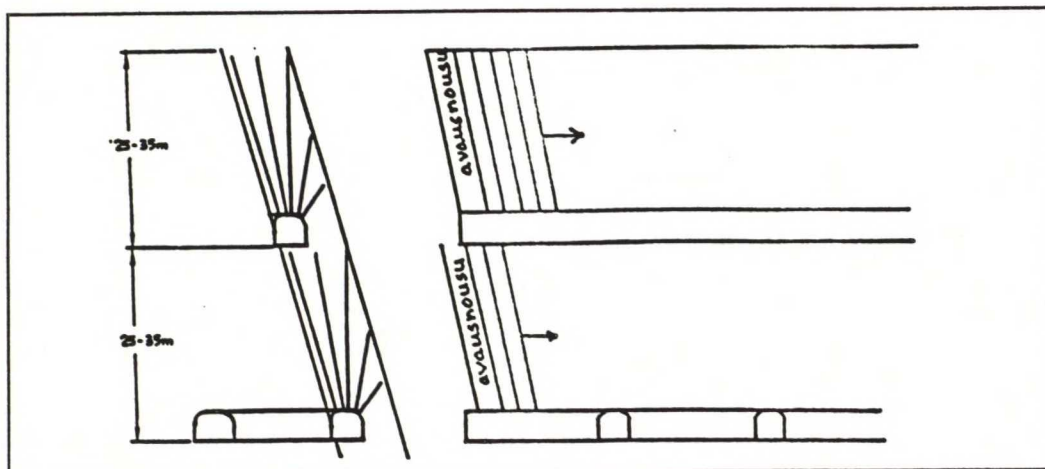
### 9.1.2 Kaivos

Viscarian kaivos on rakennettu esiintymän kokoon ja muotoon nähden erittäin suuren tuotantotason omaavaksi laitokseksi. Suunniteltu tuotanto 1.2 - 1.3 Mt/vuosi on saavutettu erittäin korkealla mekanisointiasteella ja soveltamalla kapeaan malmiin laajamittaisia louhintamenetelmiä.

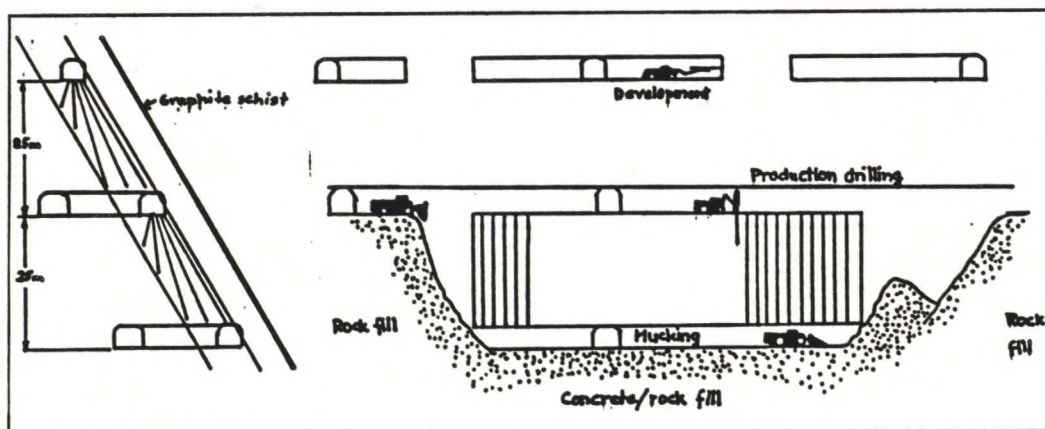
Korkea tuotantotaso ja mekanisointi vaatii suurikokoisen ja tehokkaan kaluston käyttöä. Malmin nosto tapahtuu autonostona MB-kuormautoilla vinotietä pitkin. Tämä taas vaatii suurikokoisen lastauskaluston käyttöä, mikä aiheuttaa suuren peräkoon sekä vinotielle että muille perille. Nykyisellä malminpaksuudella (3 - 8 m) optimi peräkkö ja kalustovaatimus ovat huomattavasti pienempiä vinotietä lukuunottamatta.

Käytetyt louhintamenetelmät ovat tällä hetkellä pitkittäinen välitasolouhinta ja pengertäyttölouhinta. Pitkittäistä välitasolouhintaa käytetään pääasiassa pohjoismalmissa, jossa pitoisuus on alhaisempi ja kalliomekaaniset olosuhteet melko hyvät. Pengertäyttölouhintaa ja systemaattista kallion esilujitusta vaijeripulttituksella käytetään rikkaassa P-malmissa. Sen reunaosissa ja matalapitoisissa osissa käytetään myös vaakapilareita jättävää pitkittäistä välitasolouhintaa yläkätisillä rei'illä, ts. levylouhintaa.





Kuva 19. Pitkittäinen välitasolouhinta Viscaria AB:ssa



Kuva 20. Pengertäyttölouhinta Viscaria AB:ssa

Viscarian kaivoksen ongelmana on ollut varsin korkea raakkulaimennuksen taso läpi koko kaivoksen historian. Keskiarvo vuosina 1982 -1988 on ollut n. 33 %. Eräänä syynä tähän on laajamittaisten louhintamenetelmien soveltaminen kapeaan malmiin, jolloin on hyväksytty jo suunnittelussa korkeahko laimennus. Lisäksi aikaisemmin laimennusta ovat aiheuttaneet sortumat, jotka ovat johtuneet kattokontaktissa tai sen välittömässä läheisyydessä olevan grafiitin huonosta pysyvyydestä.

Vuoden 1989 tuotantoluvuista havaitaan, että malmin tuotannosta n. 24% tulee malmiperäisestä. Tällä perusteella on peränaion tutkimus ja vaikutus raakkulaimennukseen otettu erääksi tutkimuskohteeksi Viscariassa.

Taulukko 8. Viscarian tuotanto vuosina 1982 - 88/26/.

Vuosi	Malmivarat		Tuotanto		Raakku- laimennus	Malmi- tappio
	Kt	% Cu	Kt	% Cu		
1982	165	1.47	73	1.25	15.0	15.0
1983	959	2.41	928	1.32	45.0	46.0
1984	809	2.95	1253	2.03	31.0	
1985	1068	3.86	1267	2.50	31.0	26.0
1986	1032	3.09	1320	2.26	27.0	6.0
1987	782	3.97	1152	2.40	40.0	11.0
1988	715	3.49	1114	2.12	39.0	5.0
TOTAL	5649	3.19	7107	2.13	33.0	14.0

Taulukko 9. Viscaria AB:n tunnuslukuja vuodelta 1989.

Malminnosto	741724 t
Louhinta louhoksista	600365 t
Louhinta malmiperistä	145567 t
Raakun nosto	609888 t
Valmistavat työt	7074 m
Nousut	764 m
Malminnosto/miestyövuoro	15 t/vuoro

## 9.2 Geologinen informaatio

### 9.2.1 Tutkimusmenetelmät

Geologisen informaation hankinta tapahtuu varsin perinteisillä ja totutuilla menetelmillä. Käytetyin menetelmä sekä inventointivaiheessa että tuotantotutkimuksessa on kairaus. Muita menetelmiä geologisen informaation hankintaan ovat soi-japoraus, geofysikaalinen reikämittaus ja malminrajan kartoitus peristä. Lisäksi erikoisuutena on mainittava suunnattu kairaus, jota käytetään kuitenkin varsin vähän sen kalleuden takia. Se soveltuu parhaiten uusien malmien etsintään silloin, kun kairaus olisi muuten erittäin vaikeata tai jouduttaisiin ajamaan paljon tutkimusperiä.

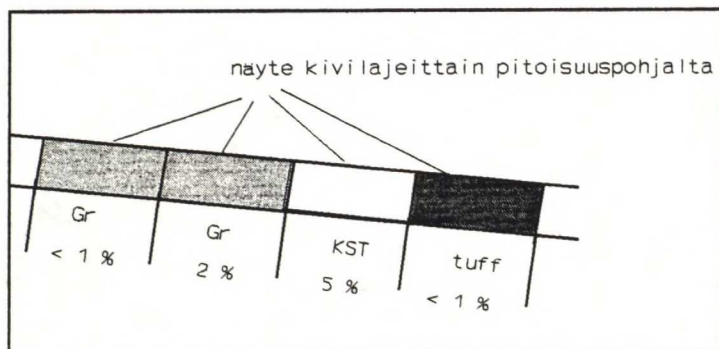
Kuten edellä mainittiin kairaus on kaikkein tärkein informaation hankintamenetelmä. Sitä käytetään kaikilla tiedonhankkimistasoilla malmin etsinnästä ja inventoinnista malminrajan määrittämiseen. Viscariassa kairattiin vuonna 1989 kaikkiaan n. 14000 m. Vastaavasti v. 1988



kairatiin 14200 m ja v. 1987 n. 10300 m. Kairausta teki 2 - 4 urakoitsijaa vuodenajasta ja tarpeesta riippuen.

Kairauskalustona käytettiin pääasiassa T46 kalustoa. Se antaa liian pientä kairasydäntä näytteenoton ja analysoinnin luotettavuutta ajatellen. Saatavilla olisi ollut lähes samalla hinnalla T56 kalustolla kairaavia urakoitsijoita. Lisäksi reikien taipuma olisi pienempi etenkin pitkällä rei'illä suuremmalla kalustolla kairattaessa. Kaikista kairarei'istä mitattiin lähtökulma, joten tulokset olivat kuitenkin suhteellisen luotettavia sijaintinsa puolesta varsinkin lyhyissä rei'issä. Myös maanpinnalta kairattuja reikiä käytettiin hyväksi louhintasuunnittelussa, vaikka niiden tarkkuus ei ollut paras mahdollinen. Usein havaittiin huomattaviakin eroja tarkennuskairausten ja inventointikairausten tulosten välillä nimenomaan malmin sijainnin suhteen.

Kairasydänkartoituksessa geologi merkitsee kivilajit erikseen ja arvioi silmämääräisesti Cu-pitoisuuden ja sen vaihtelut. Tämän jälkeen otetaan sydäimestä näytteet ts. ne halkaistaan analysointia varten kivilajeittain pitoisuuden vaihtelun perusteella. Tällöin esimerkiksi kuvassa 21 oleva pitkä grafiittiosuus, jossa kupari vaihettuu hitaasti pois, analysoidaan useammassa osassa ja jako analyysieihin tapahtuu silmämääräisesti pitoisuuden pohjalta.



Kuva 21. Kairasydämen jako analysointia varten.

Soijaporaus esiteltiin ja otettiin käyttöön v. 1989 aikana. Sitä varten peruskorjattiin Atlas Copcon Simba 221 pitkäreikälaite. Tarkoituksena oli saada soijaporauksella nimenomaan lisää informaatiota malminrajoista ja niiden kulusta.

Näytteenotto soijaporauksessa tapahtuu normaalin käytännön mukaisesti 1/2:n jatkotangon välein. Tällöin saadaan näyte 0.9 m:n pätkissä. Näyte johdetaan huuhteluveden

mukana jakolaitteen kautta näytepusssiin. Reikä huuhdellaan huolellisesti puhtaaksi aina ennen uuden näytteenoton, siis porauksen, aloittamista.

Soijaporauksen käyttöönotossa on Viscariassa ollut huomattavia vaikeuksia. Porauslaite on peruskorjattu mutta vanha. Sen käytettävyyks on ollut huono ja kunnossapitokustannukset ovat olleet erittäin suuret. Jälkilaskennassa osoittautui, että soijaporauksen kustannukset ovat olleet n. kaksinkertaiset vastaavaan timanttikairaukseen verrattuna. Tällä perusteella soijaporauksesta tutkimusmenetelmänä luovuttiin n. kolmen kuukauden ajaksi ja aloitettiin selvitys urakoitsijan käytölle soijaporauksessa. Urakoitsija aloitti soijaporauksen toukokuun -90 aikana paremmin siihen sopivalla kalustolla.

Porareikägeofysiikan avulla tapahtuvaan malminrajan määrittymiseen kaivoksella on laitteiston puolesta mahdollisuus. Mutta se ei ollut aktiivisessa käytössä, koska se vaati pienemmän reikäkoon kuin tuotantoporauksessa on käytössä. Kaivokselle on hankittu Rautaruukin kehittämä kenttätietokone ja väliaineen sähköiseen johtavuuteen perustuva anturi. Tällä kalustolla ei pystytäkseen eksaktisti määrittämään malminrajan sijaintia, mutta kompaktin malmin paikan määrittäminen onnistuu hyvin.

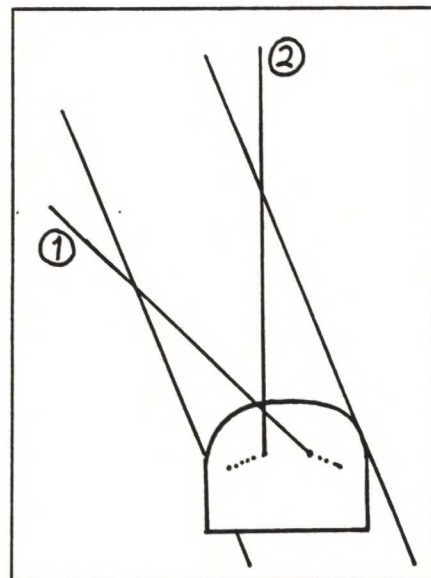
Tutkimusten aikana suoritettiin reikägeofysikaalisia mittauksia kerran R530 louhoksella. Louhoksen pohjoisosaan oli jäänyt n. 40 m pitkä tutkimaton osa, jonka malminrajoista oli vain karkea arvio. Louhoksen tutkimista varten laadittiin porauskaavio, jonka perusteella pyrittiin selvittämään malmin kaadetta ja jopa malmin rajan sijaintia tarkemmin.

Porauskaavio suunniteltiin siten, että lävistykset mittauksia varten saadaan sekä malmin katto- että jalkapuolet. Kuvan mukaisia kaavioita porattiin 3 kpl 10 m:n välein. Saadut tulokset eivät olleet välttämättä luotettavia, koska reiät jouduttiin suuntaamaan erittäin loivasti malminkontaktiin nähden. Tällöin syntyy helposti varsin suuri virhemahdollisuus jo reikien taipuman ja lähtökulman virheen takia. Toisaalta tulosten tulkinta tuki kuitenkin varsin hyvin oletettua malminrajan sijaintia ko. profiileissa. Liitteessä 6 on esitetty sondeerauksen tulostulokset ja sen perusteella tulkittu malminraja eri profiileissa.

Kartoitusta käytettiin kaivoksella erittäin paljon. Kaivososastolla oli mm. erikseen kartoittaja ja kartoitusteknikko, joiden tehtävänä oli mm. erilaiset



malminrajan kartoitus- ja tuotannon laadunvalvontatehtävät, joista on peränaajon ohjaus malmissa. Osittain tämä johtuu siitä, että kartoituksen perusteella tehdään malmiperänaajon tuotantoraportointi. Toisaalta kartoituksella saadaan paljon erittäin tärkeää ja yksityiskohtaista informaatiota malminrajoista ja sen kulusta tasoilla. Tämä informaatio on tärkeää tietoa vaakaleikkauksien piirtoa varten, jotka ovat olennainen osa geologisen informaation siirtoa louhinnan suunnittelulle.



Kuva 22.

Porauskaavio reikämittauksia varten.

### 9.2.2 Orepack

Orepack on kaksidimensioiseen geostatiikkaan perustuva malminarvio-ohjelmisto. Se on Pascal-kielellä kirjoitettu ohjelmisto VAX 750/725 koneympäristöön. Orepack on alunperin kehitetty LKAB:n toimesta vuosien 1982 - 84 aikana /27/.

Orepackin toimintakaavio on esitetty liitteessä 7. Ohjelmisto jakautuu erilaisiin määrittely- ja laskentaosiin. Varsinainen tiedonsyöttö ja tallennus tapahtuu taulukko-ohjelmiston avulla DBH- ja Malm-tiedostoon. Tallennus- ja syöttötoimintojen lisäksi ohjelmisto jakautuu laskentaohjelmiin, jotka suorittavat ja rajaavat malmiarvion. Lisäksi siinä on tulostustoiminnot.

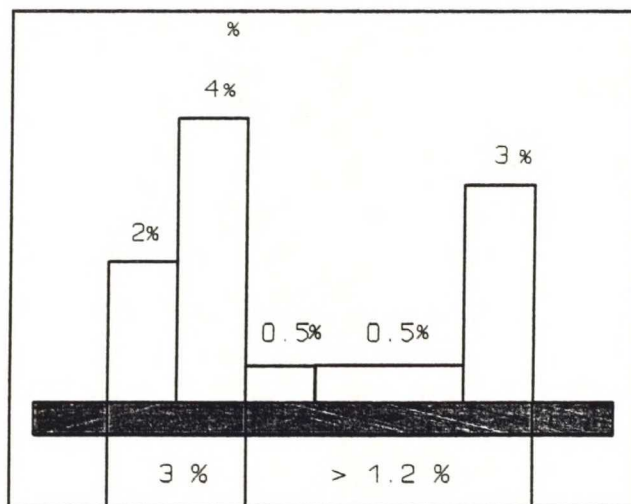
Tärkeimmät laskentaohjelmat ovat Composite ja Geostat /27/ (liite 7.). Composite on ohjelma, joka laskee kairasydänanalyysistä malmin paksuuden ja pitoisuuden ko. lävistyksen kohdalla ennalta määrätyn cut-offin,

pienimmän malmin leveyden ja suurimman raakun leveyden avulla. Composite-ohjelman laskema tulos käytetään Geostat-ohjelman lähtötietoina malmiarvion tekemiseen. Vastaavasti voidaan tulostaa jo malmin rajat profiileissa Wall-plot:illa tai sitten voidaan tulostaa malmin paksuus ja pitoisuus Malm-plot ohjelmalla.

Geostat on 2-dimensioiseen geostatiikkaan perustuva malmiarviolaskentaohjelma. Ohjelmassa on frekvenssifunktio, kumulatiivinen ja normaalijakauma, variogrammin laskenta, pistekriging ja blockkriging. Blockkriging laskentaan liittyy myös pitoisuus - määrä käyrän laskenta. Lähtötiedot saadaan Composite ohjelmistosta ja tulostus tapahtuu List-file:n kautta kirjoittimella tai päätteellä. Lisäksi on mahdollisuus tulostaa piirturilla blockkriging ja tasa-arvokäyrästä.

### 9.2.3 Malminrajan määrittäminen

Malminrajan määrittäminen tapahtuu niinikään Orepack:in Composite ohjelmalla. Ongelmana rajan määrittämisessä on se, että kuparikiisun isäntäkiven, kalkkikiven lisäksi kontaktin grafiitissa on usein malmiluokan kuparipitoisuuksia. Tämä vaikeuttaa malminrajan määrittäystä erityisesti silloin, kun kalkkikiven ja grafiitin erottaa matalapitoinen raakku.



**Kuva 23.**  
Kairasydännäyte malminrajan määrittämistä varten.

Kuvasta voidaan selkeästi erottaa ja yhdistää ne osuudet sydäimestä, joiden pitoisuus ylittää ennalta määrätyn block cut-off:in. Saman tekee myös Orepack. Sitten tulee matalan pitoisuuden alue (alle 0.5% Cu), joka alittaa sekä block cut-off:in että sivu cut-off:in. Tämän jälkeen tulee osuus, jossa on korkeampi pitoisuus. Ohjelma laskee



tämän matalan pitoisuuden ja sitä seuraavan korkean pitoisuuden osuuden painotetun pitoisuuden ja jos se ylittää sivu cut-off:in, otetaan kyseinen väli mukaan malmiarvioon. Lisäksi ohjelma pyrkii laskemaan erilaisilla vaihtoehtoilla mahdollisimman optimistisen vaihtoehdon.

Malmin rajan määrittämisen jälkeen ohjelma tarkistaa, että malmi ylittää ennalta määrätyn louhintateknisen minimipaksuuden (Viscariassa 4 m). Jos paksuus ei ylitä 4 m:iä, ohjelma leventää malmia siirtämällä malminrajaa 'rikkaammalle' puolelle siten, että malmin paksuus on vähintään 4 m. Tämän jälkeen ohjelma tarkistaa sen, että uuden rajan sisälle jäävän malmin pitoisuus ylittää block cut-off:in.

Kuten edellä kuvattiin on pienin hyväksytty malmin paksuus Viscariassa 4 m. Tämä siitä huolimatta, että cut-off:in ylittävä malmi saattaa olla huomattavasti kapeampi. Tässä tapauksessa tapahtuu laimennusta jo geologista insitu malmiarviota tehtäessä. Toisin sanoen malmiarvio ei ole insitu arvio, vaan se huomioi valmiiksi louhintateknistä laimennusta.

#### 9.2.4 Geologisen informaation siirto louhinnansuunnittelulle

Malminrajan yksityiskohtainen selvittäminen ja kuinka hyvin saatua informaatiota kyetään siirtämään louhinnan- ja tuotannonsuunnittelulle on ensiarvoisen tärkeää raakkulaimennuksen torjunnassa. Tällä tasolla raakkulaimennuksen huomioiminen ja torjuminen on ylivoimaisesti helpointa ja halvinta. Kun vahinko on päässyt tapahtumaan, sitä ei voida korjata ainakaan halvalla, jos ollenkaan. Malminrajojen lisäksi kompaktin malmin ja kivilajienrajat esimerkiksi grafiitin ja muiden heikkousvyöhykkeiden osalta ovat niinikään tärkeitä tietoa. Edellä mainitun informaation perusteella määrätään louhintaraja, louhoksen muoto ja arvioidaan lujitustarvetta. Esimerkiksi louhintaraja ei enää välttämättä seuraa tarkasti malminrajaa, kun otetaan muukin informaatio huomioon. Niinikään mahdollisten pilarien koko ja muoto ei ole pelkästään riippuvainen vain malmiarvion antamasta informaatiosta.

Viscariassa inventointivaihe toteutetaan pääosin edellä kuvatun normaalin käytännön mukaisesti. Profiiliväli on tällöin n. 50 - 75 m ja reikäväli 25 - 35 m. Näillä perusteilla tehdään alustava malmin kulun arviointi. Tällä informaatiolla suunnitellaan yleiset valmistavat

työt ja osa louhinnan valmistavista töistä.

Kun yleiset valmistavat työt on saatu lähes päätökseen, kairausta voidaan suorittaa lähempää malmia. Tutkimustiheystavoitteena on vähintään 25 m:n profiiliväli ja n. 15 m:n reikäväli. Tämän ns. tuotantokairauksen perusteella tehdään malmiarvio ja malmikonstruktio profiileitain parasta geologista tietoa ja kokemusta hyväksi käyttäen. Tämän jälkeen voidaan malminrajoja vielä tarkentaa valmistavien töiden kartoitusten perusteella. Joissakin tapauksissa on kartoitusinformaatio käytettävissä jo malmikonstruktiota tehtäessä. Yleensä louhinnan suunnittelun vaatiman malmikonstruktion tietotiheyden pitäisi olla suurempi.

Malmin konstruktioon jälkeen saamansa informaation perusteella - kairaus, soihaus ja kartoitus- geologi piirtää ja arvioi malmin rajat 10 m:n tasovälein. Rajat digitoidaan suunnittelijan malmimalliin. Ohjelmaan voidaan syöttää digitoimalla malminrajat, perien sijainti ja tärkeimpien kivilajien rajat. Tällöin saadaan mukaan esimerkiksi grafiitin sijainti malmiin nähden.

Viuhkanpiirto-ohjelma mallintaa pinnoittamalla lineaarisesti malmin. Ohjelma laskee ja piirtää malmimallista halutuilta kohdilta profiilit. Ne voidaan tallettaa ja hakea takaisin poraus- ja panostuskaavion suunnittelua varten. Niiden suunnittelu tapahtuu niinikään suoraan päätteeltä. Ohjelmisto ottaa mm. huomioon porausagregaatien ominaisuudet ja suunnittelu tapahtuu valitun porauslaitteen vaatimien parametrien mukaisesti. Liitteessä 8 on esitetty viuhkanpiirto-ohjelman toiminta. Ohjelma on Orepack:stä riippumaton ja malminrajat tulevat geologin arvioimista leikkauksista. Kuvassa 31 on huomattavaa, että profiilien piirto ohjelmassa tapahtuu suorilla viivoilla vaakaleikkausten osoittaman rajan mukaisesti.

Viuhkanpiirto-ohjelman avulla informaation siirto tapahtuu erittäin kätevästi ja nopeasti. Sen lisäksi poraus- ja panostusviuhkojen suunnittelu on nopeaa ja helppoa.



### 9.3 Informaatiotiheys

Geologisen raakkulaimennuksen ja sen suuruuden määrittämiseksi kokonaislaimennuksesta joudutaan selvittämään käytettyä informaatiotiheyttä, jolla tarkoitetaan kuinka paljon geologisesti arvioitu malminraja poikkeaa todellisesta malmin rajasta. Todellinen malminraja tunnetaan kuitenkin vasta silloin, kun informaatiotiheys on ääretön, ts jatkuva rajapinnalla.

Informaatiotiheyden taso on arvioitu yksinkertaisesti piirtämällä kairalävistysten paikat malmin tai suunnitellun louhoksen pituusleikkaukselle. Samalla on selvitetty malmin paksuus ja pitoisuus kunkin lävistyksen kohdalla malmiarvion luotettavuuden arvioimiseksi. Orepack:sta on myös mahdollisuus plotata kartalle suoraan kyseinen informaatio.

Viscarian tutkimuksissa valittiin pohjoismalmista louhokset R530 ja 531 ja keskimalmista R406 erityisiksi seurantakohteiksi. Nämä louhokset ovat Viscarian kapeimmissa malminosissa. Niiden tutkimustiheys on suhteellisen alhainen ja ne olivat tutkimusten aikana tuotannossa tai tulossa juuri tuotantoon. Käytetty louhintamenetelmä kaikissa louhoksissa on pitkittäinen välitasolouhinta yläkätisillä rei'illä.

Mainitut louhokset ovat olleet Viscarian osuuden aikana myös geologisen raakkulaimennuksen suuruuden arvioimisen kohteena ja peränajon laimennuksen arvioinnin kohteena.

**Taulukko 10.** Seurannassa olleet louhokset.

Louhos	Tonnit	Kt	Pitoisuus	% Cu
R 530	102.1			2.62
R 531	25.0			2.60
R 406	57.9			2.53

#### 9.3.1 Pohjoismalmi

Pohjoismalmissa tutkimustiheyden tavoitteena on 25 m:n profiiliväli ja 15 m:n reikäväli lävistyksen kohdalla. Pohjoismalmissa tarkistettut louhokset ovat R530 ja R531. Ne sijoittuvat tasovälille +390 - +440 m. Louhosten korkeus on 25 m ja pituus vaihtelee 50 - 200 m. Valmistavina töinä louhintaa varten jouduttiin ajamaan vinotietä n. 530 m (väg 4).

Informaatiotiheyden kannalta R530 oli periaatteessa valmiiksi tutkittu louhintaa varten 25 m:n profiiliväleihin. Lisäksi oli kairattu muutamia reikiä profiilien väliin. Mutta louhoksen pohjoispäähän oli jäänyt 40 - 50 m:n levyinen aukko, jossa lävistyksiä oli ainoastaan aivan louhoksen yläosassa. Vastaavasti malmin pohjoisreuna suunnitellun louhoksen ulkopuolelta oli kairattu varsin tiheästi muuhun louhokseen verrattuna.

Louhoksen R531 alueelle oli tutkimusta tehtäessä kairattu vain 2 reikää. Se ei ole riittävä geostatistisen tai minkään muun malmiarvion tekemiseksi. Vastaavan suuruisella tietotiheydellä tehtiin kuitenkin investointipäätös 'Väg 4' projektille ja suunniteltiin yleiset valmistavat työt. Liitteessä 9 on esitetty pituusleikkaukset louhoksista R530 ja R531 ja kairalävitysten pitoisuudet.

### 9.3.2 Keskimalmi

Keskimalmissa on tutkimustiheystavoite sama kuin pohjoismalmissa eli 25 x 15 m. Tämä toteutuukin varsin hyvin louhoksen R406 osalta. Se on periaatteessa tutkittu valmiiksi tuotantoa varten ja siellä ei enää tehdä tarkennusporauksia. Joitakin pieniä kartoitustöitä saatetaan tehdä mikäli mahdollista.

Louhokset R407 ja R408 tulevat tuotantoon vasta vuoden 1991 aikana. Niiden informaatiotiheys on samalla tasolla kuin esim. R531 louhoksella. Vastaavalla tavalla on näiden louhosten malmiarvion tarkkuus myös ollut varsin huono. Liitteessä 10 on pituusleikkaukset ja lävistykset louhoksista R406-408.

### 9.3.3 A- ja P-malmit

Tutkimuksissa P-malmista ei otettu esimerkkilouhoksia, mutta yleiskatsaus alueen informaatiotiheyteen on tarpeen, koska kaivoksen jäljellä olevasta kuparimäärästä 60 - 80% on P-malmissa. P-malmi on muodoltaan ja rajoiltaan huomattavasti paljon vaihtelevampi kuin pohjois- ja keskimalmi. Tämän takia siellä profiiliväliä on pienennetty 20 m:iin reikävälillä ollessa yhä 15 m. Lisäksi A-malmissa tasoväleillä 690 - 720 m on kairattu väliprofiileja malmin erittäin voimakkaan poimuttumisen takia.

A- ja P-malmien tutkiminen on helpompaa kuin pohjois- ja keskimalmin. Siellä on malmin jalkapuolelle raakkuun ajettu kuljetus- ja tutkimusperä lähes kaikille tasoille



lukuunottamatta aivan kapeimpia malmin reunaosia. Perän etäisyys malmista on 15 - 20 m. Nämä P-malmin reunaosat on tarkoitus louhia vetäytyen pitkittäisellä välitasolouhinnalla. Tämä siksi että malmin pitoisuus ja määrä on niin pieni, että ei kannata ajaa kuljetusperää malmin viereen. Tällöin aiheutuu varsin huomattavia vaatimuksia malmin tutkimiselle erityisesti malminrajojen ja tuotantotutkimuksen osalta, koska malmin vierellä ei ole edes vinotietä, josta soiaporauksen tai kairauksen voisi suorittaa. Ainoaksi vaihtoehdoksi näyttää jäävän malmin sisältä soiaporaaminen ja erillisistä tutkimuskuprikoista tapahtuva vaakaviuhkojen kairaaminen.

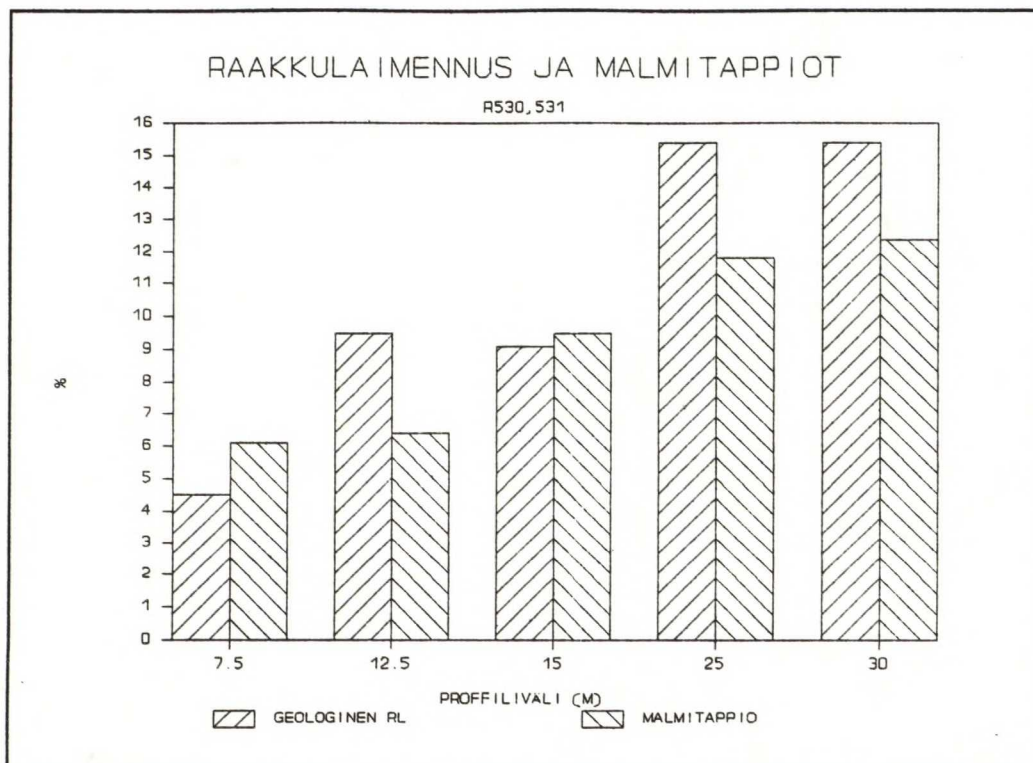
#### 9.3.4 Tietotiheyden vaikutus geologiseen raakkulaimennukseen

Aiemmin on esitetty, että syötteen pitoisuus kasvaa ja lähestyy insitu-pitoisuutta tietotiheyden kasvaessa. Samaa tutkittiin käytännössä Viscariassa pohjoismalmissa kahdessa eri louhoksessa. Vaikka selvitys käytännön esimerkeistä huolimatta on varsin teoreettisella pohjalalla, voidaan tutkimuksesta tehdä hiukan yleisempiä johtopäätöksiä. Samalla voidaan soveltaa saatua informaatiota Viscarian muihin osiin.

Lähtökohta suoritettulle tutkimukselle oli se, että malmin rajat oli kartoitettu peristä louhoksissa R530 ja R531 tasoilla +415 ja +440 riittävän yksityiskohtaisesti. Toisaalta malmi oli niin kapea, että sekä katto- että jalkakontaktin kulku voitiin selvittää kartoittamalla.

Tämän jälkeen suunniteltiin kyseisille tasoille systemaattinen kairaus vinotieltä profiiliväleillä 7.5 m, 12.5 m, 15 m, 25 m ja 30 m, minkä jälkeen piirrettiin kuviteltu louhintaraja yhdistämällä kontaktien lävistykset suoralla viivalla. Samalla laskettiin kummankin louhoksen geologinen raakkulaimennus ja malmitappio kartoituksen malminrajasta ja kuvitellusta louhintarajasta eri profiiliväleillä. Liitteessä 11 on esitetty kuvat ja taulukot tutkimustiheyden vaikutuksesta geologiseen raakkulaimennukseen. Kuten oletettiin geologisen raakkulaimennuksen ja malmitappioiden arvo putosi n. 15 %:sta 5 %:iin käytettäessä 7.5 m:n profiiliväliä 25 m:n sijaan.

Tuloksista voidaan lisäksi todeta, että vaikka louhintarajan piirto on varsin suoraviivainen, ovat tuloksien suunta, laimennus pienenee tutkimustiheyden kasvaessa, ja suuruusluokka varsin oikeita.



Kuva 24. Raakkulaimennus ja malmitappiot R530 ja R531.

#### 9.3.5 Malmiarvion muuttuminen informaatiotiheyden kasvaessa

Tutkimuksen alkuvaiheessa todettiin, että malmiarvion luotettavuudelle tulee erittäin suuret vaatimukset raakkulaimennuksen suuruutta arvioitaessa. Tämä vaatimus kuitenkin useimmiten täyttyy mikäli noudatetaan normaalia tutkimuskäytäntöä. Kuitenkin louhinnan suunnittelun ja erityisesti perien sijoittamisen suunnittelun aikana olisi tärkeää, että malmiarvio, erityisesti malmin rajan suhteen, olisi jo silloin riittävän luotettava. Sen pitäisi perustua varmuusasteluokitukseltaan todettuihin malmivaroihin /9/.

Eräiden selvityksessä mukana olleiden louhosten metallisisältö putosi jopa 50% siitä mitä sen arvioitiin olevan investointipäätöstä tehtäessä. Tämä johtui siitä, että kun tehtiin projektin investointipäätös, oli kyseisille alueille kairattu ainoastaan muutamia lävistyksiä. Malmiarvio perustui oletukseen geologisista jatkuvuuksista reikien välillä, jota ei sitten ollutkaan ainakaan pitoisuuksien osalta. Toisaalta suunnitellut louhokset osittautuivat dimensioltaan huomattavasti pienemmiksi kuin oletettiin.



Eräs syy mainittuihin tapauksiin on Orepack ohjelmassa. Jotta Orepack kykenisi tekemään variogrammin ja malmiarvion, se tarvitsee tiedot vähintään kuudesta lävistyksestä. Jos informaatiotiheys on hyvin matala, joudutaan krigingvaikutusalue asettamaan hyvin suureksi. Tällöin ohjelma ottaa mukaan lävistyksiä, jotka eivät enää geologisilta vaikutuksiltaan kuulu malmiarvioon. Useimmiten nämä ylimääräiset reiät tulevat suunnitellun louhoksen yläpuolisista louhoksista. Tällöin tapahtuu pitoisuuden yliarvostusta. Toisin sanoen geostatistinen malmiarvio ei toteudu oikein alkuehdoiltaan/28/. Toinen syy malmiarvioiden epätarkkuuksiin on se, että informaatiotiheyden ollessa huono, tehdään pelkästään silmämääräinen arvio määristä ja pitoisuuksista.

Malmiarvion muutosta selvitettiin pohjoismalmissa R530 ja R531 louhoksissa ja keskimalmissa R406-408 louhoksissa. Lisäksi tehtiin orepackilla malmiarvio P-malmin osalta 50 ja 100 m:n kriging vaikutusmatkoilla. Louhoksille muutokset olivat taulukon 11 mukaiset.

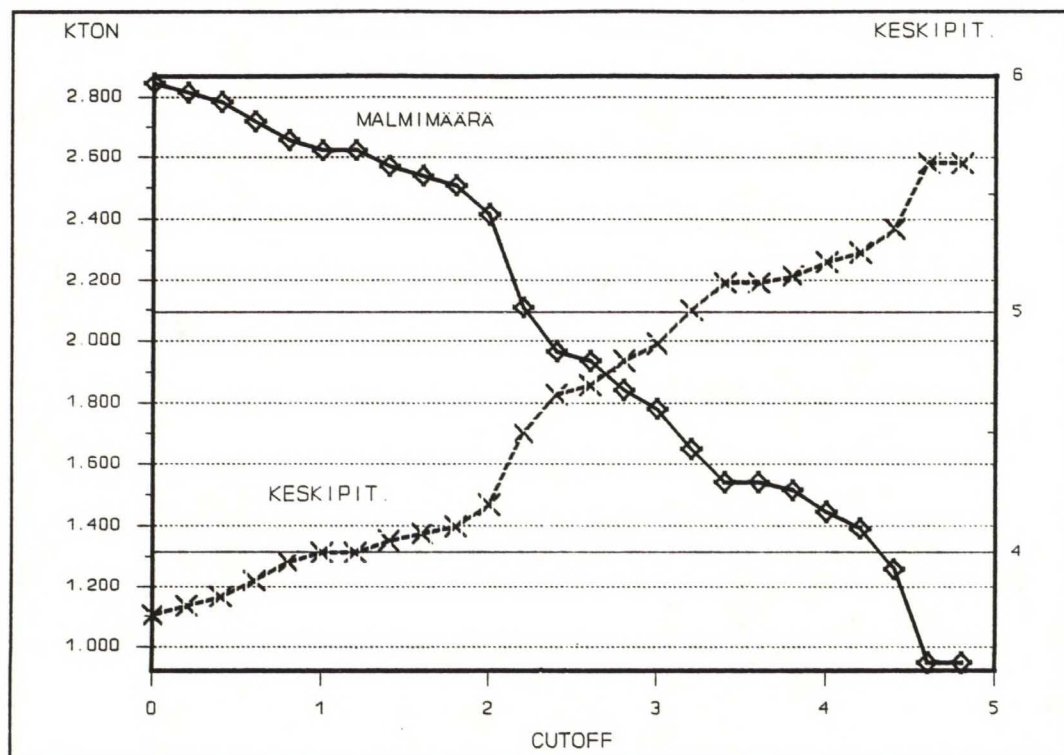
Taulukossa 12 on esitetty orepackin tulokset P-malmissa eri krigingvaikutusalueella käytettäessä 4.0 % Cu block cut-off:na. Kuvissa 25 ja 26 on esitetty P-malmin pitoisuus - tonni käyrät eri kriging vaikutusmatkoilla.

**Taulukko 11. Malmiarvioiden vertailu**

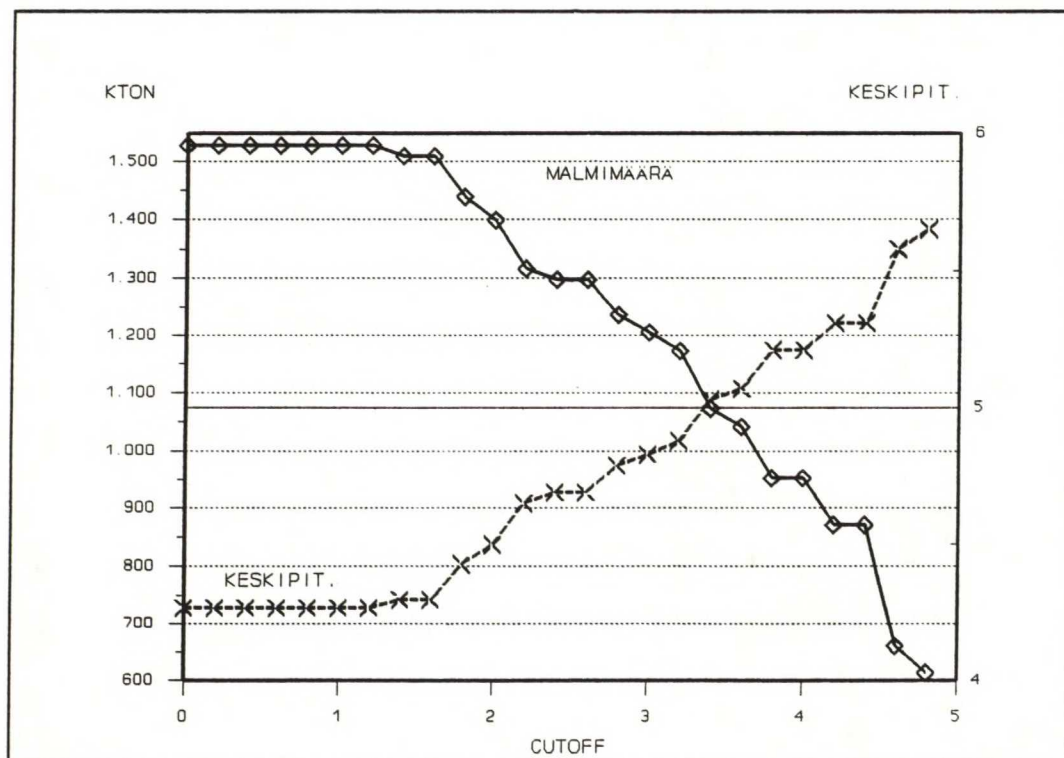
Louhos	Vanha arvio			Uusi arvio		
	Tonnit	Kt	Pit. %	Tonnit	Kt	Pit. %
R 530	100		2.5	98		2.66
R 531	95		2.7	25		2.6
R 406	57		2.53	54		2.39
R 407	91		2.7	50		2.5
R 408				45		2.4

**Taulukko 12. Malmiarvion erot P-malmissa eri Krigingvaikutusmatkoilla**

Kriging m	Tonnit t	Pitoisuus %
50	952	5.21
100	1446	5.22



Kuva 25. P-malmi tonni - pitoisuus käyrä 100 m:n kriging vaikutusmatka X-akselin ollessa block cut-off.



Kuva 26. P-malmi tonni-pitoisuus käyrä 50 m Kriging vaikutusmatka X-akselin ollessa block cut-off.



#### 9.4 Kapeaa malmia seuraava peränajo

Kapeaa malmia seuraavan peränajon raakkulaimennus ja louhinnan ohjaus olivat eräs projektin tavoitteista. Tässä oli tarkoitus nimenomaan tutkia laimennuksen suuruutta eri tilanteissa ja arvioida menetelmiä, joilla peränajoa voidaan ohjata. Viscariassa n. 20 % tuotannosta saadaan valmistavista töistä. Tällöin peränajon seurannalla ja ohjauksella on huomattava osuus koko tuotannon ohjauksesta.

##### 9.4.1 Menetelmäkuvaus

Viscariassa peränajonohjaus ja tuotannon arviointi perustuvat lähes kokonaan perien kartoitukseen ja uranäytteenottoon perän päästä. Perä kartoitetaan periaatteessa ennen jokaista katkoa ja uranäyte otetaan joka kolmannella tai neljännellä katkolla. Kartoituksen perusteella suunnataan peränajoa. Sekä näytteenoton että kartoituksen perusteella lasketaan toteutunut tuotanto malmiperistä viikoittain.

Perän kartoitus tapahtuu siten, että kartoittaja piirtää valmiille lomakkeelle peränpäästä kivilajien rajat ja merkitsee eri kivilajit. Sitten kartoituskohteen sijainti mitataan karkeasti mittapisteeltä tai esimerkiksi pilarin kulmasta. Erityisesti kartoituksessa kiinnitetään huomiota malmin kattokontaktin sijaintiin. Lujituksen takia malmiperä pyritään ajamaan mahdollisimman lähelle kattokontaktia, mutta sitä ei saisi rikkoa. Vastaavasti arvioidaan kalkkikiven, grafiitin ja muiden kivilajien osuutta perässä.

Uranäytteenotto tapahtuu siten, että peränpään poikki otetaan 1.5 m:n korkeudelta n. 20 cm:n välein pieniä palanäytteitä kivilajeittain. Näytteet analysoidaan ja saatua pitoisuutta käytetään kolmen seuraavan katkon pitoisuuden arvioinnissa.

Peränajon ohjaukseen käytettiin lisäksi kairausinformaatiota lähinnä malmin sijainnin ja kulun arviointiin. Se ei ollut kuitenkaan järjestelmällistä, vaan useimmiten profiiliväli peränajovaiheessa oli kaikkea mahdollista 20 metristä ylöspäin. Lisäksi saatetaan kairata peränpäästä, jos esimerkiksi malmi kapenee huomattavasti oletetusta, ja näin varmistaa kuitenkin jatkuvuus edempänä. Tämä tapahtui mm. P-malmissa perässä 74503. Malmi kapeni nopeasti 5 - 7 m:stä ja osittain hävisi. Kuitenkin oli olemassa malmilävistys n. 20 m:n päässä edempänä. Oletettiin, että siinä on siirros, joka on katkaissut

malmin tai että kohdalla on voimakas paikallinen poimuttuma. Kairaukset eivät osoittaneet, että malmilla olisi ollut jatkuvuutta, mutta peränajoa kuitenkin jatkettiin ja malmi tavoitettiin uudestaan n. 10 m:n päässä. Esimerkki osoittaa, että matala informaatiotiheys aiheuttaa ongelmia myös peränajossa.

Peränajon kuten myös muun louhinnan tuotantoraportointi tapahtuu viikoittain. Yleinen mielipide Viscariassa oli, että peränajon tuotantoraportointi on luotettava näytteenoton menetelmästä huolimatta. Se ei kuitenkaan huomioi laimennusta ollenkaan, vaan ilmoitettu pitoisuus peränajosta oli ns. laimennettu pitoisuus. Toisin sanoen raakkulaimennus laskettiin suoraan mukaan tuotantoilmoitukseen ja lähtökohtana ei ollut malmiarviosta saatava informaatio.

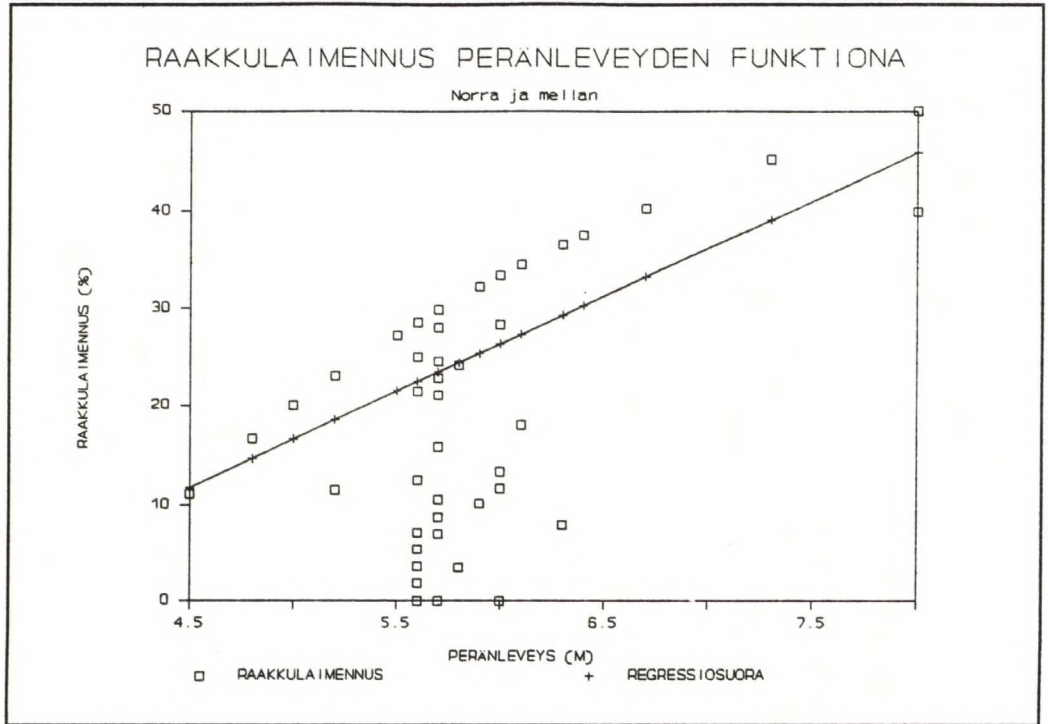
#### 9.4.2 Peränajon seuranta

Peränajon seuranta perustui sekä tutkimuksen aikana tehtyihin kartoituksiin ja seurantaan että aikaisemmin tehtyihin kartoituksiin. Peränajon selvityksen kohteita olivat louhosten R530, R531 ja R406 perät 41501, 41502, 44001, 44002 ja 43501. Lisäksi P-malmin peränajokohteista perät 67703, 69703 ja 74502, jotka ovat kaikki P-malmin eteläreunalta.

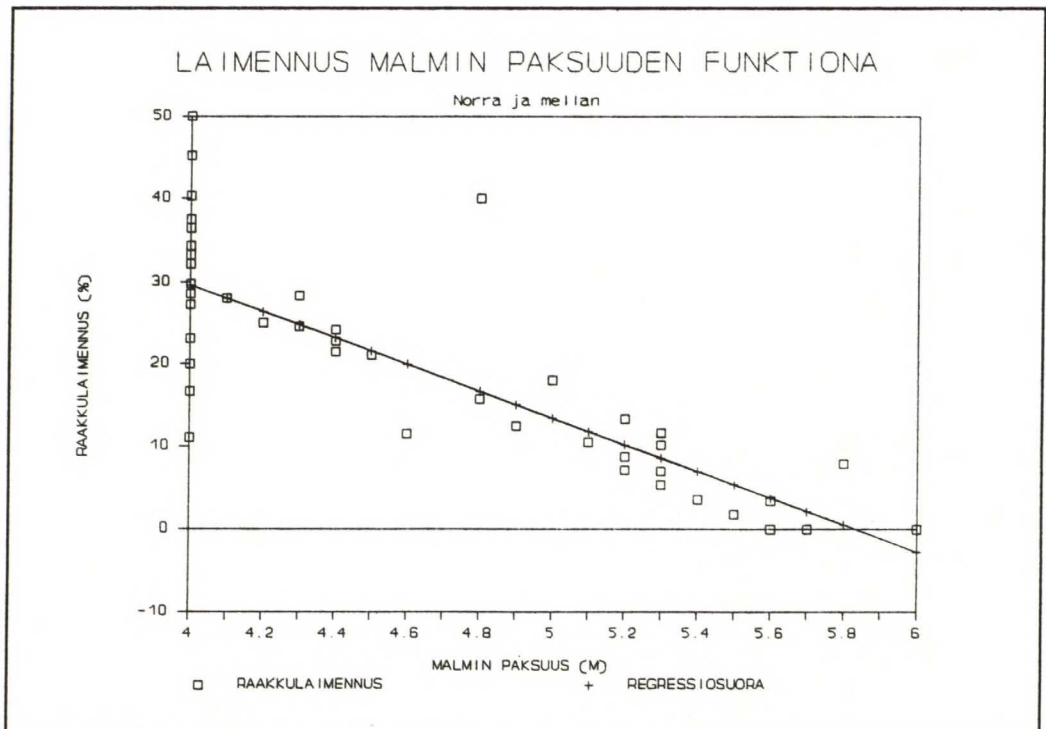
Edellämainituista tutkimuskohteista mitattiin ja laskettiin kartoitusten ja uranäytteenoton perusteella malmin leveys, insitu pitoisuus, raakkulaimennus ja toteutunut pitoisuus. Kaiken kaikkiaan kartoituksia oli pohjois- ja keskimalmissa 91 ja P-malmissa 41. Jako tutkimuksessa tehtiin sen takia, että P-malmi on paksumpi ja vaihtelevampi muodoltaan kuin pohjois- ja keskimalmit. Tällöin saadaan myös malmityyppien vaikutusta hiukan esiin. Liitteessä 12 on esitetty tutkimuksen tulokset.

Laimennus on esitetty graafisesti erikseen pohjois- ja keskimalmin peränajolle. Laimennus on laskettu perän leveyden ja malmin paksuuden funktiona (kuvat 27 ja 28). Lisäksi on laskettu ja piirretty lineaariset regressiot kyseisille pisteille. Kuvista nähdään, että perän suunniteltu leveys 5.6 m ja malmin minimipaksuus 4 m aiheuttavat hiukan epämääräisyyttä regressioihin. Raakkulaimennuksen taso pohjoismalmissa on 15 - 20 %. Vastaavasti P-malmissa laimennus on hiukan pienempi (kuvat 29 ja 30).

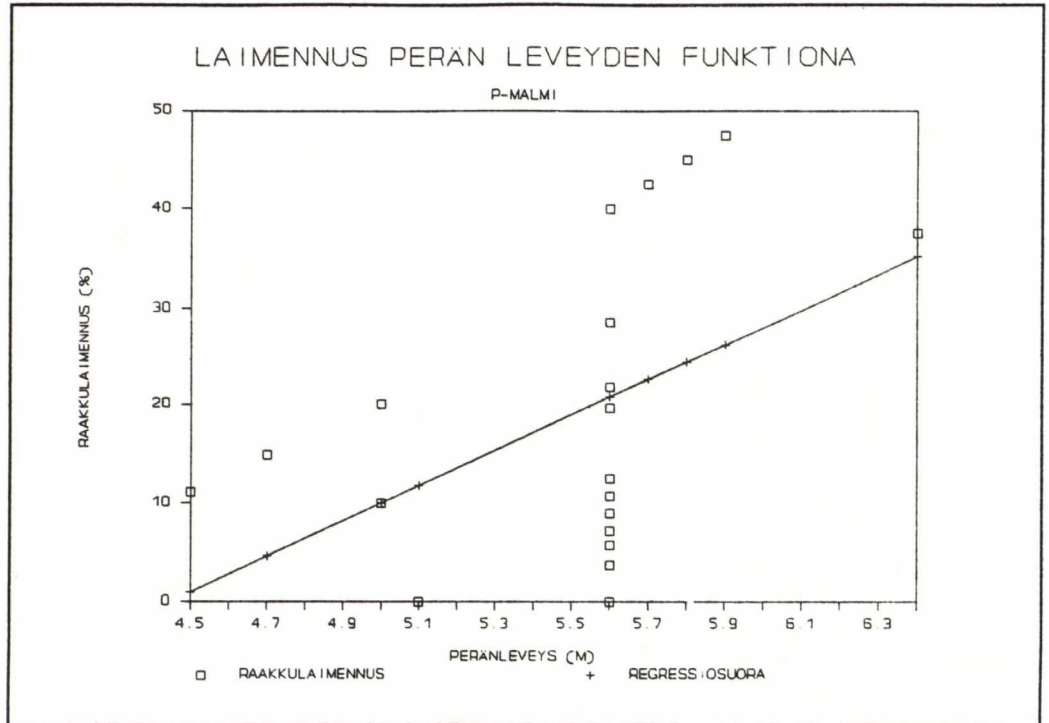




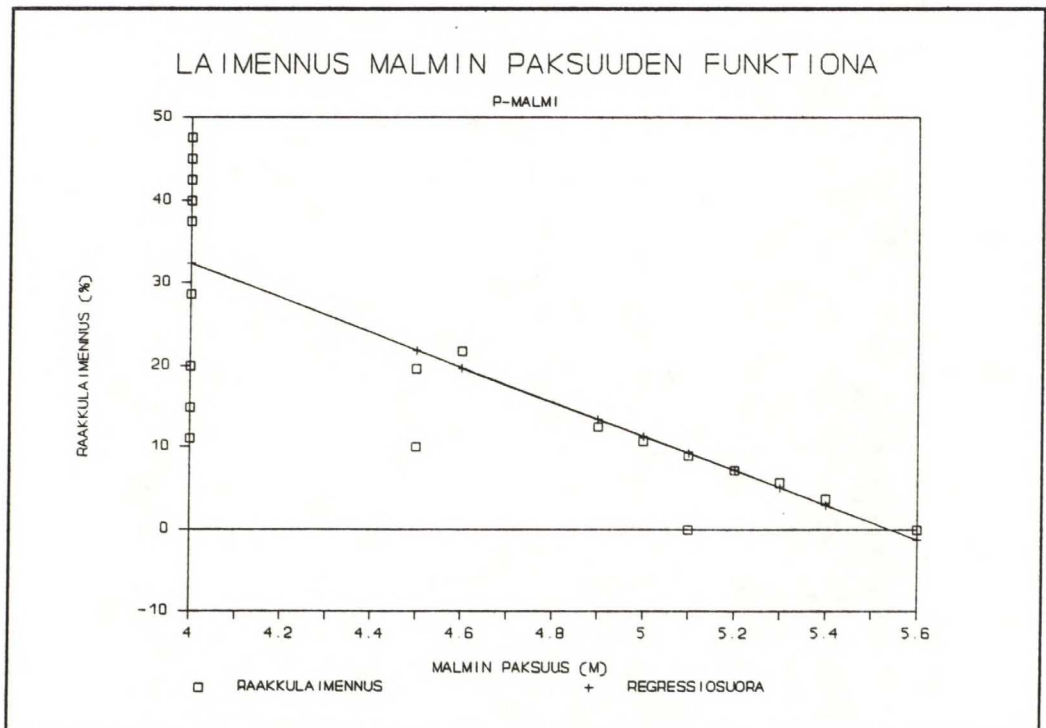
Kuva 27. N- ja M-malmit peränajon raakkulaimennus



Kuva 28. N- ja M-malmi peränajon raakkulaimennus



Kuva 29. P-malmi peränajon raakkulaimennus



Kuva 30. P-malmi peränajon raakkulaimennus



Peränajon toteutuneita pitoisuuksia verrattiin vastaavan louhoksen malmiarvioon. Vertailusta ei voida tehdä mitään suoria johtopäätöksiä, koska mm. näytteenottomenetelmät poikkeavat huomattavasti luotettavuudeltaan toisistaan. Mutta jos valmistavissa töissä toteutuneet pitoisuudet jäävät hyvin alhaiseksi verrattuna malmiarvion antamiin pitoisuuksiin, voidaan olettaa, että luvassa on ongelmia. Tämä etenkin silloin, kun informaatiotiheys on alhainen. Näin tapahtui esimerkiksi louhoksessa R408, jonka valmistavien töiden pitoisuus oli huomattavasti alle 2%:a Cu. Lähemmässä tarkastelussa havaittiin, että rikkaampaa malmia ei oltu vielä tavoitettu ja malmin sijainti oli arvioitu väärin.

#### 9.4.3 Perän sijoittuminen kapeissa malmeissa ja sen vaikutus raakkulaimennukseen.

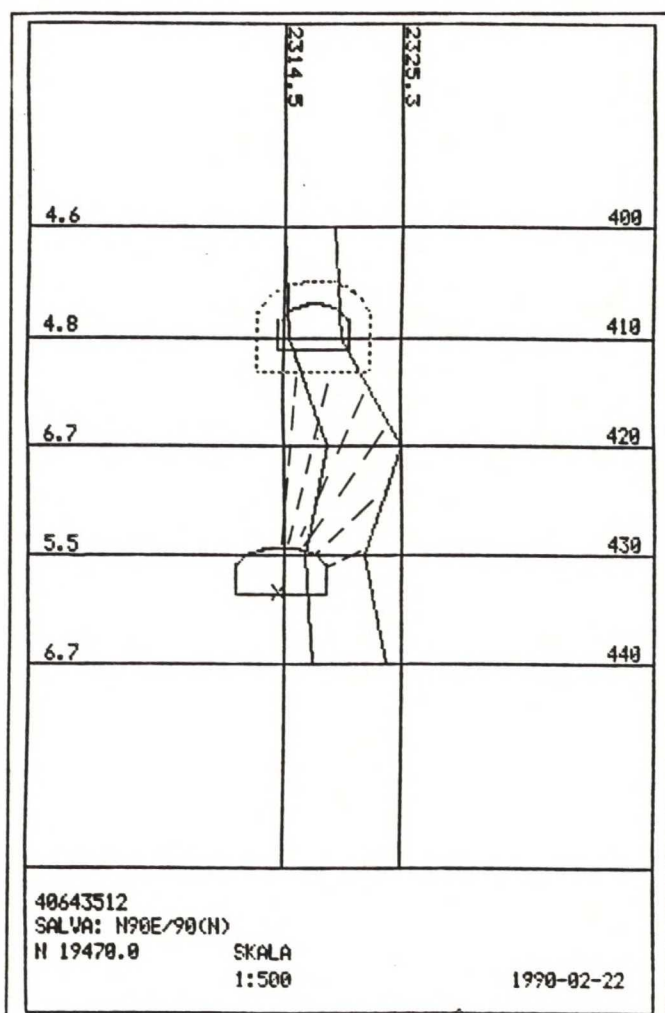
Perän sijoittumisella malmiin nähden on erittäin suuri vaikutus kokonaislaimennuksen. Sen lisäksi, että perää osittain raakkuun ajettaessa, tulee laimennusta peränajosta, aiheuttaa se myös lisäksi huomattavia vaikeuksia louhinnalle.

Louhoksessa R406 malmiperä oli ajettu puoliksi ohi malmin kuvan 31 mukaisesti. Tämä aiheutti sen, että laimennus kyseisellä kohdalla louhosta nousee varmasti yli 50 %:n.

#### 9.5 Raakkulaimennus Viscarian kaivoksella

Raakkulaimennus Viscarian kaivoksella on kautta aikojen ollut varsin korkea. Se on vaihdellut 15 - 45 % (taulukko 8) keskiarvon ollessa vuosina 1982 - 88 33 %. Nämä luvut on laskettu syötteen pitoisuusaleneman perusteella.

Vuonna 1989 alustavan arvion mukaan vastaavasti pitoisuusaleneman perusteella on saatu raakkulaimennuksen arvoksi 25.9%. Vuoden 1989:n tuotanto 745937 t 3.66 %Cu (insitu) jakautui siten, että louhoksista saatiin 600365 t 3.77 % ja valmistavista töistä 145567 t 3.11%. Rikastamon ilmoituksen mukaan syöte oli 741723 t 2.71 % Cu.



**Kuva 31.**

Peränajon suuntaa-  
misen vaikutus raak-  
kulalaimennukseen

Kun huomioidaan se, että valmistavien töiden tuotantoilmoituksessa on jo valmiiksi laskettu raakkulalaimennus mukaan, niin ilmoitettu pitoisuus on jo syötteen pitoisuus. Tämä aiheuttaa sen, että raakkulalaimennusarviossa pitoisuusalenema kohdistuu kokonaisuudessaan louhoksien tuotannolle. Tällä perusteella louhoksilta tulevan syötteen pitoisuus on 2.59 % Cu, joka merkitsee louhoksien tuotannolle 31.3 %:n raakkulalaimennusta.

Vuonna 1989 pitoisuusaleneman perusteella raakkulalaimennukseksi saadaan 28%, kun oletetaan, että peränajossa in situ pitoisuus on sama kuin louhoksilla (3.77 % Cu). Rikastamon syötöstä 745937 t (2.71 % Cu) peränajon osuus on 145567 t ja pitoisuus uranäytteiden perusteella 3.11 % Cu. Toisin sanoen laimennus peränajossa on

$$(3.77 - 3.11/3.77) * 100 \% = 18\%$$

mitä voidaan pitää aikaisempien tutkimusten perusteella suuruusluokaltaan oikeana.



### 9.5.1 Raakkulaimennuksen jakautuminen

Alkuperäisten määritelmien mukaan raakkulaimennus jakautuu ns. louhintatekniseen ja geologiseen raakkulaimennukseen. Tätä jakoa voidaan käyttää sekä louhoksilta tulevalle tuotannolle että peränojalle. Valmistavissa töissä on kyse lähinnä raakkulaimennuksesta, jonka suuruus on pääosin riippuvainen malmin paksuudesta ja peräkoosta. Toisaalta geologista raakkulaimennusta peränojassa aiheuttaa malmin yllättävä mutkittelu, jota ei voida aina ennakoida.

Aiemmin esitettyihin tuloksiin perustuen voidaan arvioida, että louhoksien tuotannolle raakkulaimennus jakautuu siten, että 10 - 15 %:n laimennus on geologista ja 10 - 15 %:n laimennus on louhintateknistä. Kokonaislaimennuksesta on n. 2/3 louhintateknistä ja 1/3 geologista silloin, kun peränaajo on laskettu mukaan.

Arvio laimennuksen jakautumisesta yksittäisessä louhoksessa eri tyyppeihin on eniten riippuvainen tietotiheydestä suhteessa todellisen malminrajan mutkitteluun ja paksuuteen nähden. Lisäksi on otettava huomioon malmiarvion luotettavuus ja kuinka systemaattisesti louhos on tutkittu.

## 9.6 Raakkulaimennuksen lähteet eri louhintamenetelmissä

Louhintamenetelmien vertailu raakkulaimennuksen kannalta ei koske juuri ollenkaan geologista raakkulaimennusta vaan lähinnä louhintateknistä. Tämä siksi, että määritelmänsä mukaan geologinen raakkulaimennus on eniten riippuvainen tietotiheydestä. Ainoastaan silloin voidaan puhua geologisesta laimennuksesta, kun louhintamenetelmä valitaan väärin tai perien sijoittamisessa tapahtuu virheitä huonon tietotiheyden takia. Lähinnä tällaisessa louhintamenetelmävertailussa on kyse louhintamenetelmän kyvystä seurata malmin rajoja, lujitusmenetelmien käyttö ja porausviuhkojen sijoittaminen.

### 9.6.1 Pitkittäinen välitasolouhintaa

Viscariassa pitkittäistä välitasolouhintaa sovelletaan pääasiassa kapeisiin tai heikkopitoisiin malminosiin. Se on louhintakustannuksiltaan jonkun verran halvempi kuin pengertäyttölouhintaa. Se johtuu vähemmistä valmistavista töistä ja siitä että lujitus perustuu osittain malmiin jätettäviin vaaka- ja pystypilareihin.

Viscarian tyyppisessä pitkittäisessä välitasolouhinnassa malmin syvimmissä osissa kattokontaktia ei voida lujittaa kunnolla louhoksen yläosista, vaan sinne usein jätetään muutaman metrin paksuinen vaakapilari. Tämä saattaa joskus aiheuttaa pienehköjä sortumia ja laimennusta. Välitasoperät pyritään ajamaan mahdollisimman lähelle kattokontaktia. Tällöin porausviuhka voidaan sijoittaa siten, että malmin kontaktissa päästään yhdensuuntaisiin louhintareikiin ja kevennetyyn panostukseen. Nämä ovat ensiarvoisen tärkeitä tekijöitä silloin, kun pyritään estämään ryöstöjä louhoksen seimistä.

Liitteessä 13 on esitetty pitkittäisleikkaus louhoksista 401 - 404. Tämä louhosalue on louhittu niinikään pitkittäistä välitasolouhintaa käyttäen. Mutta kalliomekaaniset olosuhteet ovat olleet niin hyvät, että vaakapilareita ei tarvita vaan on käytetty pienehköjä pystypilareita. Ne on jätetty tarpeen mukaan louhinnan edetessä. Tällöin louhosten kattopinta-ala kasvaa suureksi ja sortumariski kasvaa huomattavasti/29/. Pilareiden vaikutus sortumien estämisessä erityisesti korkeissa jännitystiloissa saataa myöskin jäädä vähäiseksi. Tärkeäksi tekijäksi muodostuu niinikään louhosten tuotantoaika avauksesta täyttöön/21/.

#### 9.6.2 Pengertäyttölouhintaa (PCAF)

Pengertäyttölouhintaa käytetään lähinnä A- ja P-malmissa, missä malmi on paksumpi ja pitoisuus on korkeampi. Tämä louhintamenetelmä on kustannuksiltaan korkeampi mutta saanniltaan huomattavasti parempi. Lisäksi kyseisessä louhintamenetelmässä voidaan tehdä lujitusta tarpeen mukaan.

Pengertäyttölouhintaa edellyttää, että edetään alhaalta ylöspäin. Pitkittäisessä levylouhinnassa edetään kokoajan alaspäin, jolloin se on helpompi toteuttaa, kun esimerkiksi vinotie ei ole riittävän syvällä.

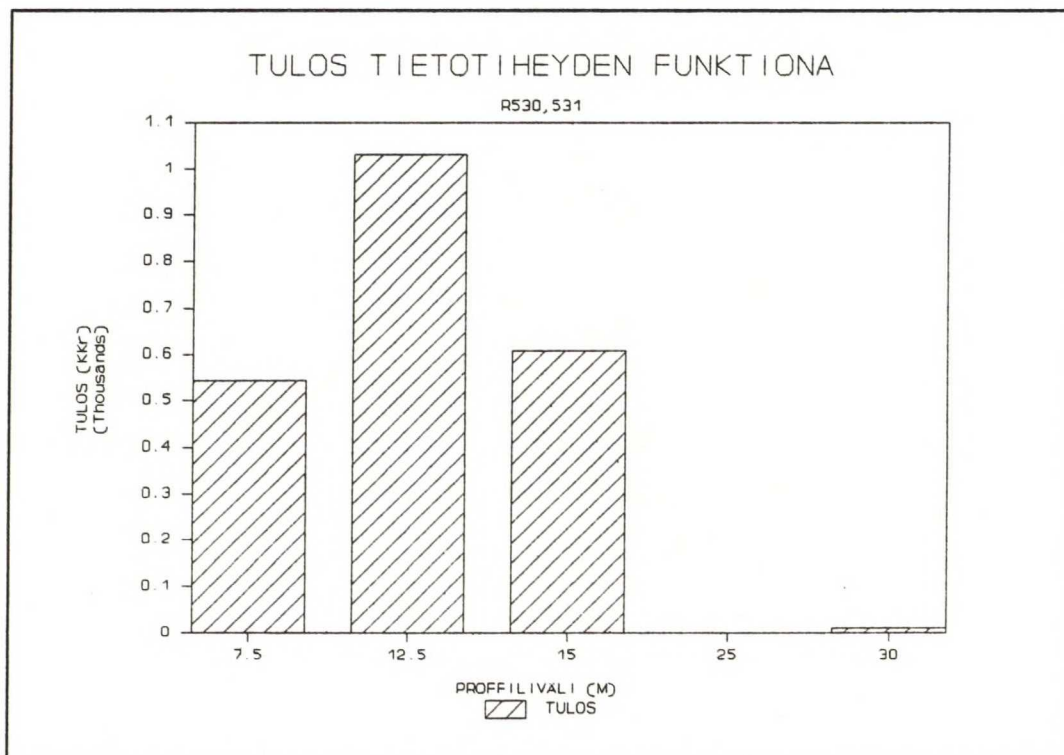
Lisäksi louhoskoko on tällä louhintamenetelmällä pienempi ja vastaavasti myös sortumariski on tällöin pienempi. Pengertäyttölouhintaa sovelletaan Viscariassa paljon vaikeammassa olosuhteissa (korkea vaakapuristus loiva kaade 45 - 65, monimutkainen geometria ja grafiittiliusketta jalka- ja kattopuolella sekä malmissa), mistä syystä pengertäyttölouhinnalla on kuitenkin varsin suuri laimennus.



### 9.7 Laskentaesimerkki geologisen raakkulaimennuksen taloudellisesta merkityksestä

Aikaisemmin selvitettiin louhoksissa R530 ja R531 tietotiheyden vaikutusta geologisen raakkulaimennuksen suuruuteen. Nyt tavoitteena on arvioida geologisen raakkulaimennuksen vaikutusta louhoskatteeseen. Tämä laskenta perustuu siihen, että käyttökustannukset pysyvät muuten vakioina paitsi louhosten tutkimuskustannusten osalta erilaisilla profiiliväleillä. Vastaavasti erilaisilla tietotiheyksillä geologinen raakkulaimennus muuttuu kuvan 23 mukaisesti. Laskentavaihtoehtoja oli 5 kappaletta. Toisin sanoen vertailu tehtiin 7.5, 12.5, 15.0, 25.0, ja 30.0 m:n profiiliväleillä. Jokaiseen profiiliin suunniteltiin kairattavaksi kuusi reikää keskimääräiseltä pituudeltaan 51 m. Tämän jälkeen laskettiin yhden kairattavan profiilin hinta porauskustannuksineen, analysointineen ja kairasydänsittelyineen. Palkkoja ei huomioida muuttuvina kustannuksina kairausmäärän muutuessa vaan henkilöstö pysyy samana kaikissa tilanteissa.

Laskentaa varten saatuun geologisen raakkulaimennuksen arvioon on lisätty 10 %:n louhintatekninen raakkulaimennus. Kuvan 32 mukaan 12.5 m:n profiiliväli olisi paras vaihtoehto.



Kuva 32. Louhoskate tutkimustiheyden muuttuessa.

Laskennassa on huomioitava, että kaikki tutkimus tehdään kairaamalla. Tämä johtuu siitä, että tutkimista voidaan suorittaa ainoastaan vinoajotieltä ja se on poikkeuksellisesti kauttaaltaan 40 - 60 m:n etäisyydellä malmista. Tämä aiheuttaa sen, että soi-japorausta ei voida käyttää. Jos vinotie olisi sijoitettu niin lähelle malmia, että soi-japoraus olisi ollut mahdollista, olisi tulos tietä- tiheyttä lisättäessä 12.5 m:stä vielä parantunut.

## 9.8 Johtopäätökset

Tutkimustiheys erityisesti tuotantotutkimuksen osalta on alhainen. Suurin informaatiotiheys saavutetaan liian myöhään louhinnansuunnittelun kannalta. Toisin sanoen tuotantotutkimus on myöhässä louhintaan nähden. Tämä aiheuttaa huomattavia vaikeuksia mm. peränaajolle ja tuotannonsuunnittelulle. Kunnollisia ja luotettavia lyhyen ja pitkän tähtäimen louhintasuunnitelmia ei voida tehdä, koska niihin käytettävän geologisen informaation taso on liian alhainen.

Viscariassa pitäisi nostaa informaatiotiheyttä ja samalla aloittaa aktiivinen soi-japorauksen käyttö kairausta halvempana tutkimusmenetelmänä. Tavoitteeksi pitää asettaa 10 x 10 m:n tutkimustiheys A- ja P-malmissa ja 12.5 x 10 m:n tutkimustiheys pohjois- ja keskimalmissa. Tätä ei tehdä pelkästään lisäämällä tutkimusmääriä, vaan muuttamalla kairauksen painopistettä malminetsinnästä malminrajojen parempaan tuntemiseen. Samalla korvataan osa kairauksesta soi-japorauksella, jolloin päästään korkeampaan informaatiotiheyteen samoilla kustannuksilla.

Viscariassa käytettävä malmiarvio-ohjelma Orepack on osoittanut varsin heikoksi. Se toteuttaa ja laskee geostatistisen malmiarvion oikein mutta infor- maatiotiheyden ollessa alhainen on vaarana että malmiar- vion laskenta ei perustu oikeisiin lähtötietoihin. Lisäksi Orepack:in laskeman malmiarvion luotettavuutta ei pystytty arvioimaan sellaisenaan ja usein joudutaan tarkastelemaan tutkimustiheyttä erikseen kartoilta ja sitä kautta arvioimaan malmiarvion luotettavuuden tasoa.

Vuonna 1989 tuotannosta n. 24% tuli malmiperänaajosta. Se on erittäin suuri osuus kokonaistuotannosta. Tämän takia peränaajolle pitäisi saada oma malmiarvio ja tuotantoen- nuste, joita olisi myös seurattava normaalin viikottaisen tuotantoraportoinnin yhteydessä.

Tehokkain tapa vähentää raakkulaimennusta peränaajossa on peräkoon pienentäminen. Jo 0.5 m:n kavennus perän

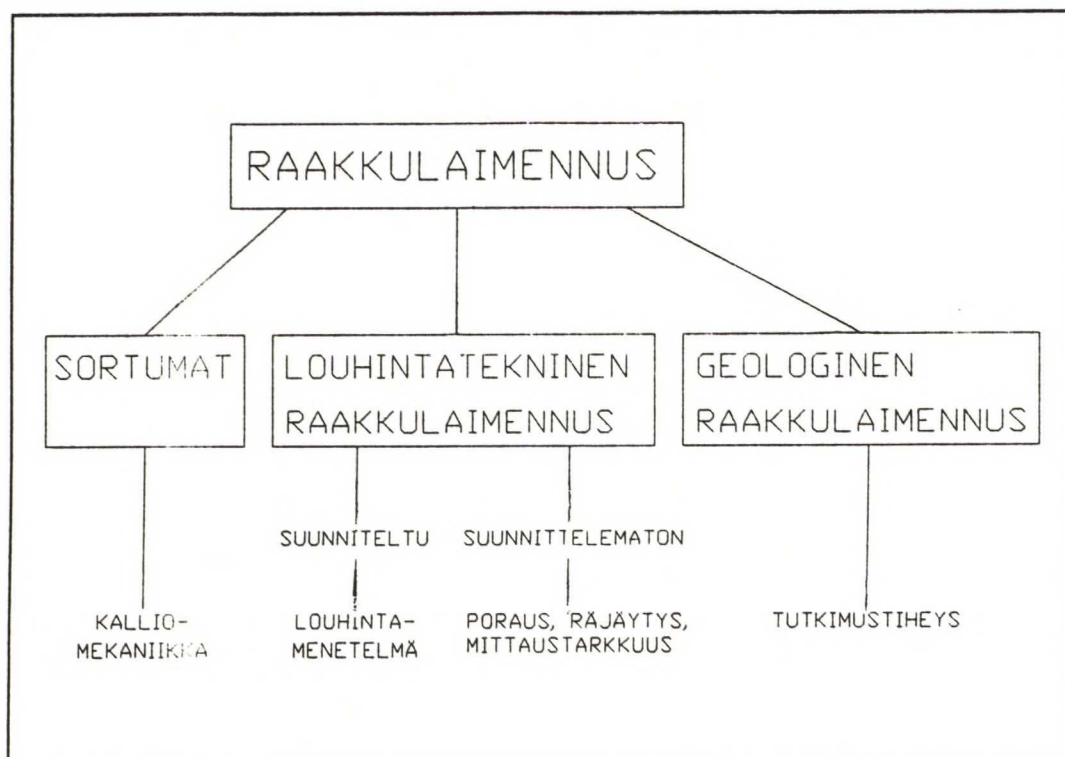


leveydessä aiheuttaa raakkulaimennuksen pienenemisen 10 - 15 %:iin. Peräkoon pienentäminen Viscariassa ei onnistu nykyisen tuotantotason ja sen vaatiman kaluston puitteissa. Mutta mikäli esimerkiksi kalustomuutoksien tai tuotantojärjestelyiden takia voitaisiin pienentää peräkokoa malmiperissä, ei tätä säästömahdollisuutta kannata jättää käyttämättä.

Tutkimusten aikana Viscariassa aloitettiin seuraamaan raakkulaimennuksen tasoa kaivoksen viikottaisissa tuotantoraporteissa. Tämä on hyvä asia, koska vain perusteellisella seurannalla saatavan informaation pohjalta voidaan puuttua raakkulaimennuksen syihin ja lähtökohtiin. Samoin pitoisuusreduktiokertoimien arvioimisen luotettavuus paranee, kun käytettävissä on aikaisempaa tilastoitua informaatiota raakkulaimennuksesta eri tilanteissa.

## 10. YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää geologisen raakkulaimennukseen vaikuttavat tekijät kapeissa ja pystyissä malmeissa. Tutkimus jakautui avolouhinnan ja maanalaisen louhinnan selvityksiin aiheesta.



Kuva 34. Raakkulaimennusta aiheuttavien tekijöiden jako syntytapojen mukaan.

Raakkulaimennus voidaan jakaa oheisen kuvan esittämien syntytapojen mukaan. Siitä nähdään, että raakkulaimennus aiheutuu useita osatekijöistä ja kokonaisuuden hallinta on erittäin tärkeä pyrittäessä raakkulaimennusta pienentämään. Ei riitä pelkästään, että keskitytään vain louhosten lujittamiseen sortumien estämiseksi, vaan täyttyy myös huomioida louhintateknisen ja geologisen raakkulaimennuksen osuus.

Raakkulaimennuksen suuruuden arvioimiseen on käytettävissä useita erilaisia kaavoja. Tärkeintä on, että käytetään koko ajan samaa arvioimismenetelmää, koska silloin voidaan vertailla laimennuksen suuruutta aikaisempiin tilanteisiin. Suositeltavin ja myöskin yleisin laskentakaava on pitoisuuden aleneman perusteella laskettava laimennuksen suuruus

$$D(\%) = ((G_m - G_s)/G_m) * 100 \% \quad (5)$$

Geologista raakkulaimennusta syntyy eniten silloin, kun pyritään louhimaan tarkasti malmin rajojen mukaan geometrialtaan monimutkaista malmia. Malminrajoja ei tunneta koskaan niin hyvin, että malmi voitaisiin louhia puhtaana. Informaatiotiheys vaikuttaa eniten geologisen raakkulaimennuksen suuruuteen. Malmin paksuus ja malmin ja raakun kontaktin terävyys niinikään vaikuttavat huomattavasti geologisen raakkulaimennuksen suuruuteen.

Uuden esiintymän tutkiminen suoritetaan kahdella toisistaan eroavalla tavoitteella. Esiintymän inventointivaiheessa pyritään tilastollisesti mahdollisimman luotettavaan malmiarvioon toisin sanoen kiinnostus on määrässä ja laadussa. Käytetyin tutkimusmenetelmä on lähes aina kairaus. Tuotantotutkimuksessa tavoitteena on selvittää malmin rajat mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Tällöin on tärkeä saada suuri tutkimustiheys, jopa hiukan tutkimusmenetelmien luotettavuuden kustannuksella. Käytetyimpiä tutkimusmenetelmiä ovat soi-japoraus, reikägeofysiikka ja kartoitus. Ne ovat olennaisesti halvempia kuin kallionäytekairaus.

Avolouhinta on huomattavasti helpompi toteuttaa kuin mikään maanalainen louhintamenetelmä. Se on selektiivinen ja tuotantotutkimus voidaan järjestää todella tuotantoa ja sen laatua ohjaavaksi. Tästä on hyvänä esimerkkinä Ruostesuon esiintymän louhinta.

Ruostesuon louhoksen tutkimuksissa selvisi kuinka huomattavasti pahimmillaan malmin inventointivaiheessa piirretyt malminrajat voivat poiketa todellisista.



Geologinen raakkulaimennus olisi noussut n. 15 %:iin mikäli olisi louhittu ilman tuotantotutkimusta vain inventointivaiheen informaation perusteella. Ruostesuolla tuotantotutkimus perustui malminrajan kartoituksiin ja porareikäraportointiin jokaiselta louhintareialtä. Tällöin voitiin välttää sekakaatojen räjäyttäminen. Näillä tekijöillä ja valikoivalla lastauksella Ruostesuon louhoksella raakkulaimennus jäi alle 5 %:n, vaikka malmi oli geometrialtaan monimutkainen.

Informaatiotiheys Viscariassa on 25 \* 15 m pohjois- ja keskimalmille ja vastaavasti 20 \* 15 m A- ja P-malmille. Yleisin tutkimusmenetelmä on kairaus, jota käytetään huomattavasti myös tuotantotutkimuksessa. Soijaporausta on kokeiltu, mutta tulokset eivät ole olleet Viscariassa rohkaisevia johtuen lähinnä väärästä kalustovalinnasta.

Malmiarvion laskemiseen Viscariassa käytetään Orepack malmiarvio-ohjelmistoa. Geologisen informaation siirto louhinnan suunnittelulle tapahtuu viuhkanpiirto-ohjelman avulla. Se mallintaa malmin tasoleikkauksien perusteella pinnoittamalla ne lineaarisesti. Käyttökokemukset ohjelmasta ovat erittäin hyvät ja sillä voidaan suunnitella kätevästi poraus- ja panostusviuhkat.

Viscariassa tutkittiin tietotiheyden vaikutusta geologisen raakkulaimennuksen suuruuteen kahdessa eri louhoksessa. Tuloksista havaittiin, että informaatiotiheyden kaksinkertaistaminen pienensi geologisen raakkulaimennuksen 15 %:sta 10 %:iin louhittaessa tarkasti oletettujen malminrajojen mukaan (louhintatekninen raakkulaimennus = 0%)

Peränajon seurannassa tutkittiin yhteensä 132 katkon kartoitus. Seuranta jaettiin erikseen A- ja P-malmin ja pohjois- ja keskimalmin välillä, koska malmien tyyppi oli erilainen. Tutkimuksessa selvitettiin jokaiselta katkolta perän leveys, malmin paksuus, pitoisuus ja raakkulaimennuksen suuruus. Tuloksista tehtiin lineaarinen regressioanalyysi. Raakkulaimennuksen suuruus peränajossa on 15 - 20 % riippuen perän leveydestä ja malmin paksuudesta.

Raakkulaimennuksen suuruus Viscariassa v. 1989 oli 28 %, kun peränajon raakkulaimennus otetaan huomioon. Peränajon raakkulaimennus oli v. 1989 n. 18% ja se perustuu siihen, että peränajossa malmin insitu pitoisuudeksi oletettiin 3.11 % Cu, joka on sama kuin louhoksille arvioitu pitoisuus.

Geologisen raakkulaimennuksen vaikutusta louhoskatteeseen arvioitiin samojen louhosten osalle, kuin tehtiin sel-

vitys informaatiotiheyden vaikutuksesta geologiseen raakkulaimennukseen. Selvityksessä tehtiin viisi erilaista tutkimusvaihtoehtoa ja laskentaa louhoksille. Ainoana muuttuvana parametrinä pidettiin tutkimustiheyttä eli kairausmäärää ja kairauskustannuksia. Vastaavasti muuttujana oli geologisen raakkulaimennuksen suuruus. Tulokseksi saatiin n. 1 MSkr:n ero parhaimman ja huonoimman vaihtoehdon välillä.



## Lähdeluettelo

1. Elbrond, J. Ore Losses, Rock Dilution and Recovery in Estimation, Design and Operation. Ore Reserve Estimation: Methods, Models and Reality. CIM Symposium, 1986.
2. Wright, E.A. Dilution and Mining Recovery - a Review of the Fundamentals. Erzmetal 36(1983)1, s 23 -29.
3. Kupias, P. Louhintamenetelmien raakkulaimennus. Raakkulaimennus ja sen taloudellinen merkitys kaivostoiminnassa 7.-8.9.1978. Helsinki 1979, seminaarimoniste B25, Vuorimiesyhdistys
4. Pelkonen, K. Raakkulaimennuksen syntymiseen vaikuttavista tekijöistä sekä raakkulaimennuksen suuruuden selvittämisen Hammaslahden kaivoksella. Raakkulaimennus ja sen taloudellinen merkitys kaivostoiminnassa 7.-8.9.1978. Helsinki 1979, seminaarimoniste B25, Vuorimiesyhdistys.
5. Mustala, J. Raakkulaimennuksen geologiset tekijät, ennakointi ja minimointi mineraaliprojektin suunnittelussa ja toteutuksessa. Otaniemi 1984. Lisensiaatin työ, Teknillinen korkeakoulu, Vuoriteollisuusosasto. 105 s.
6. Reino, J. Raakkulaimennuksen määrittäminen Outokumpu Oy:n laitoksilla. Outokumpu Oy:n sisäinen tiedote 1986.
7. Lappalainen, P. Esimerkki louhitun malmin ja malmiarvion antaman pitoisuuden erosta. Kalliomekaniikan seminaari OKP:llä 12.6.1986. Ari Simonen, Outokumpu Oy Pyhäsalmen kaivos, 1986. Julkaisematon.
8. Pelkonen, K. Kairausperiaatteet malmiesiintymän tutkimusten eri vaiheissa. Kaivosgeologien neuvottelupäivät 3.11.1986. Seminaarimoniste, Outokumpu Oy 1986. Julkaisematon.
9. Lindholm, O., Nuutilainen, J., Rauhamäki, E. Geologiset tutkimukset. Kaivos- ja louhintatekniikankäsikirja. Helsinki 1982, Vuorimiesyhdistys.
10. Lappalainen, P. Keskustelu, Viscaria AB. Helmikuu 1990, Kiiruna.
11. Niini, H. et al. Näytteenotto ja havainnointeja kaivos teknisten kallio-ominaisuuksien selvittelyssä. Tutkimus seloste A84, Espoo 1988, Vuorimiesyhdistys.
12. Lahti, J. Förverkligande av selektiv brytning vid Bid-Bidjovagge dagbrott. Otnäs 1987, Diplomarbetet, Tekniska Högskolan.

13. Hattula, A. Reikägeofysiikka petrofysiikan korvaajana. Kairaus -89 koulutuspäivät 8.-9.2.1989. Helsinki 1989, Vuorimiesyhdistys.
14. Penttilä, V-J. Waste Rock Dilution and its Economical Importance. Meeting of Mine Geologists of NMD 28.-29.9.1989. Report, Outokumpu Oy 1989. Unpublished.
15. Journel, A.G., Huijbregts, Ch.J. Mining Geostatistics. London 1978. Academic Press.
16. Reino, J., Penttilä, V-J. Kiuruveden Ruostesuon kupari-sinkkimalmi (Lyhennelmä). Pyhäsalmi 1986, Outokumpu Oy Pyhäsalmen kaivos. Julkaisematon.
17. Morrison, R.G.K., Russel, P.L., Selecting a Mining Method - Rock Mechanics, Other Factors. SME Mining Engineering Handbook, Vol 1, Sec 9. New York 1973, SME/AIME.
18. Kupias, P. Maanalaiset louhintamenetelmät. Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja. Helsinki 1982, Vuorimies yhdistys.
19. Suttill, K.R. Mechanizing Small Mines. Engineering and Mining Journal 190(1989)12 s.20-25.
20. Waterland, J.K. Cut and Fill Stopping. Hustrulid W.A. (toim.) Underground Mining Methods Handbook Sec 9. New York 1982, SME/AIME.
21. Mäki, T. Procedures to Decrease Waste Rock Dilution at Pyhäsalmi Mine. Meeting of Mine Geologists of NMD 28.-29.9.1989. Report, Outokumpu Oy 1989. Unpublished.
22. The Great Copper Challenge. Esite, Viscaria AB, Kiruna.
23. Godin, L. Prospecting. Viscaria Quality Education. Internal Report. Kiruna 1985, 17s.
24. Kisiel, T. Geology. Viscaria Quality Education. Internal Report. Kiruna 1985, 17s.
25. Godin, L. Keskustelu, Viscaria AB. Helmikuu 1990, Kiiruna.
26. Kisiel, T. Waste Rock Dilution at Viscaria Mine. Meeting of Mine Geologists of NMD 28.-29.9.1989. Report, Outokumpu Oy 1989. Unpublished.
27. Bäck, J. Ore-Pack halt- och mängdberäkningar. Datorteknik för brytningsplanering 17.-18.2.1987. Seminar raport, Luleå 1987, Högskolan i Luleå.



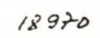
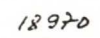
28. Niskanen, p. Basics of Geostatistics. Industrial Feasibility Studies. Luentomoniste, Helsinki 1988.
29. Särkkä, P. Raakkulaimennukseen vaikuttavia tekijöitä erilouhintamenetelmillä. Raakkulaimennus ja sen taloudellinen merkitys kaivostoiminnassa 7.-8.9.1978. Helsinki 1979, seminaarimoniste B25, Vuorimiesyhdistys.
30. Lappalainen, P., Simonen, A. Loven, P. Vaijeripulttitusraportti. Outokumpu Oy Pyhäsalmen kaivos, 1987.

## Liitteet

1. Ruostesuo tutkimusverkko
2. Ruostesuo, geologinen raakkulaimennus profiileista
3. Ruostesuo, geologinen raakkulaimennus tasokartoituksesta
4. Viscaria Etelä, pituusleikkaus
5. Viscaria pohjoinen, pituusleikkaus
6. Viscaria reikägeofysiikan tulkinta
7. Ore-Pack toimintakaavio
8. Viuhkanpiirto-ohjelman toimintakaavio
9. R530 - 531 kairalävistykset
10. R406 - 408 kairalävistykset
11. Geologinen raakkulaimennus tulokset
12. Peränajon seuranta tulokset
13. Louhokset R401-404



Liite 1



GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS PROFIILEITTAIN  
Laskettu malmiarvion profiileista

PROF.NO	MA	P-ALA	JALKAP. MT	JALKAP. RL	KATTOP. MT	KATTOP. RL	MUUT MT	MUUT RL	RAAKKUL. %	MALMIT. %
18737.5		19.7	0.0	3.4	11.3	0.0	12.8	14.3	47.3	55.0
18750.0		195.7	0.0	2.4	0.9	8.5	3.5	12.0	10.5	2.2
18755.0		305.0	0.0	36.4	0.0	0.0	25.0	55.1	23.1	7.6
18762.5		395.9	0.0	14.2	111.6	55.7	0.0	44.1	22.4	22.0
18766.0		447.8	43.2	3.7	26.4	84.0	90.4	0.0	16.4	26.3
18775.0		478.5	35.8	25.4	29.5	9.4	3.7	2.3	7.2	12.6
18780.0		369.4	111.9	0.9	39.2	12.6	9.7	0.0	3.5	30.3
18787.5		502.8	37.1	57.4	80.5	13.6	17.1	0.0	12.4	21.1
18793.0		579.9	23.2	93.0	150.9	15.8	0.0	1.3	15.9	23.1
18800.0		622.6	0.0	58.6	62.7	7.0	15.7	9.4	10.8	11.2
18806.0		392.2	17.5	9.1	64.9	15.0	71.3	6.8	7.3	28.1
18812.5		221.0	22.3	5.1	32.5	18.5	0.0	4.1	11.2	19.9
18825.0		91.3	0.0	49.2	62.2	0.0	7.7	1.0	35.5	43.4
18837.5		190.6	4.4	0.0	4.8	13.6	6.3	4.1	8.5	7.5
18845.0		499.0	28.7	0.0	18.7	0.0	7.3	167.3	25.1	9.9
18850.0		477.2	56.6	2.2	25.4	0.0	32.8	42.1	8.5	19.4
18860.0		488.7	59.2	0.0	4.5	30.6	196.4	17.4	8.9	34.7
18862.5		403.8	0.0	0.0	61.7	17.4	132.6	22.1	8.9	32.5
18870.0		87.1	0.0	13.1	116.8	0.0	207.4	0.0	13.1	78.8
18875.0		288.6	0.0	0.0	28.1	4.0	62.4	60.1	18.2	23.9
18883.0		19.2	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	52.7
18887.5		75.6	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.7	6.6
18900.0		35.7	8.8	6.8	7.5	0.0	0.0	0.0	15.9	31.4
YHTEENSÄ		7187.0	453.8	381.0	961.4	305.6	901.9	464.6	13.8	24.4

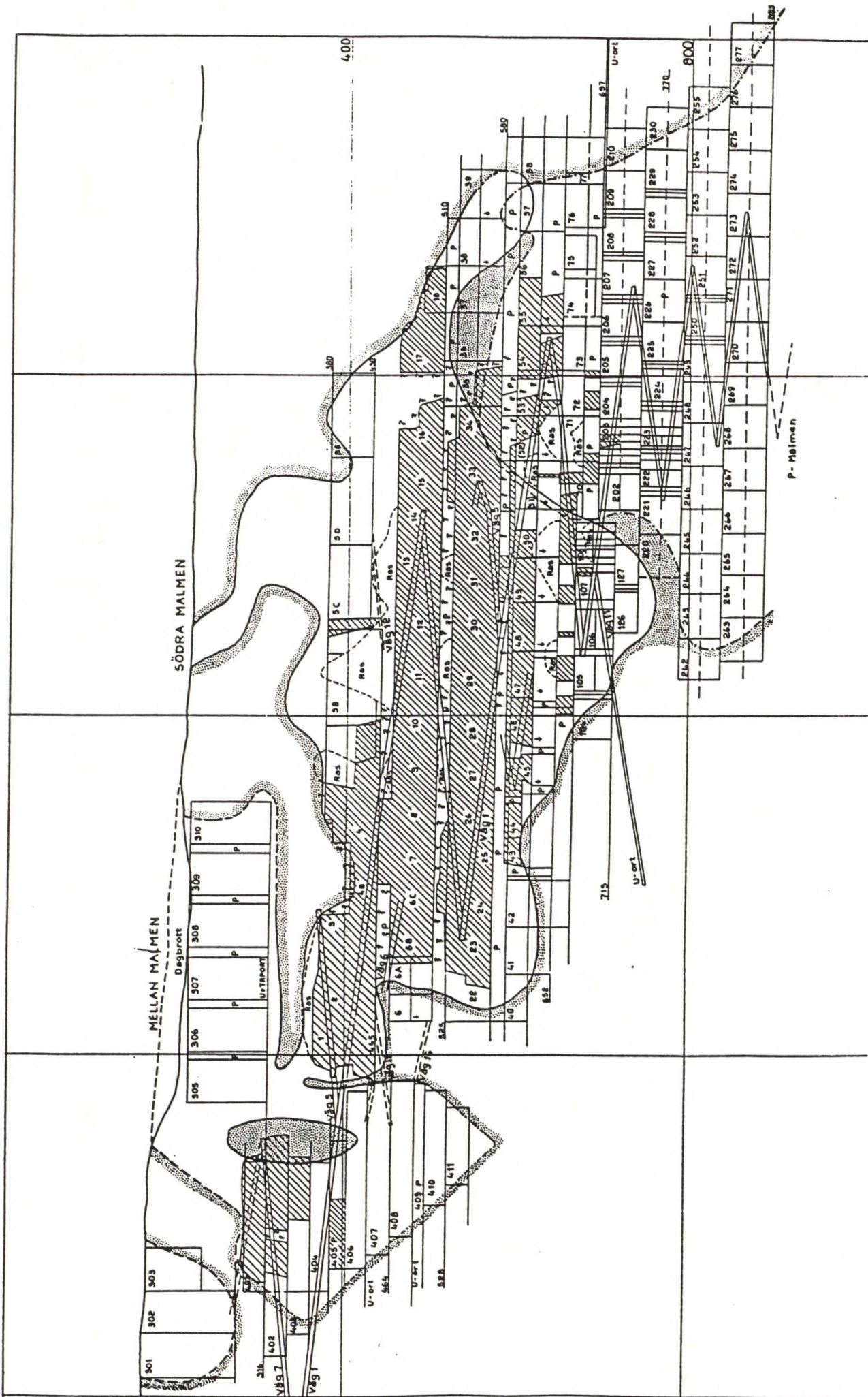
GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS 13.8  
GEOLOGINEN MALMITAPPIO 24.4



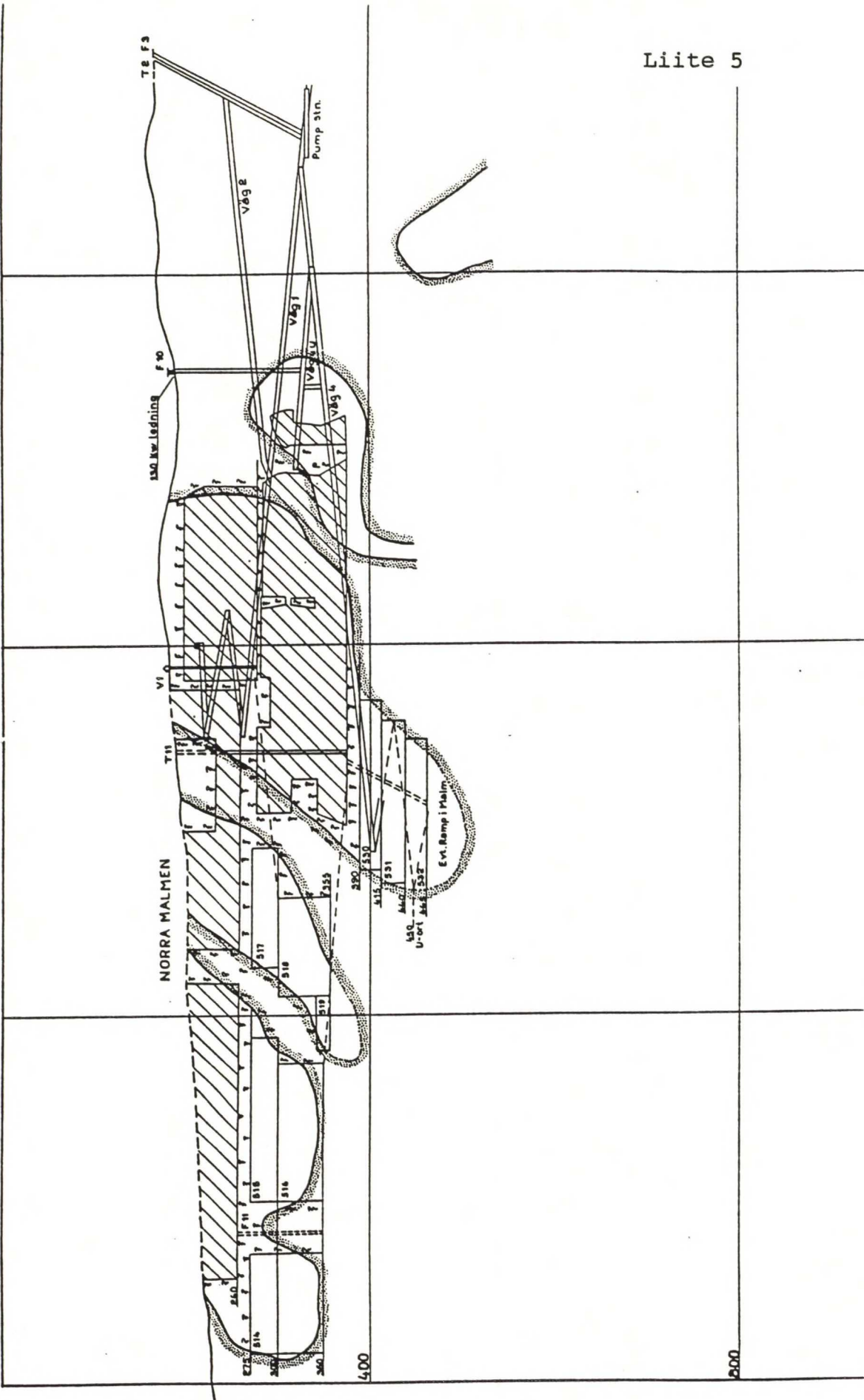
GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS TASOITTAIN  
Laskettu prosentteina malmiarvion tasoprofiileista

TASO	MA	P-ALA	JALKAP. MT	JALKAP. RL	KATTOP MT	KATTOP RL	MUUT MT	MUUT RL	RAAKKUL. %	MALMIT. %
5	1329.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8	0.0	0.0	3.1
10	1372.3	63.0	85.4	47.9	0.0	0.0	125.3	121.4	13.1	14.7
15	1422.8	63.3	128.0	191.7	222.4	222.4	45.2	10.9	20.3	17.4
20	1307.4	117.5	64.3	310.7	72.0	72.0	29.3	12.3	10.2	25.9
25	1296.3	190.0	19.9	401.0	164.4	164.4	107.9	152.7	20.6	35.0
30	1158.5	119.6	73.8	372.8	142.0	142.0	34.0	0.0	15.7	31.2
35	1137.3	61.6	111.9	362.8	190.3	190.3	0.0	0.0	21.0	27.2
40	372.5	54.2	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2
45	141.5	7.5	37.3	62.7	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	33.2
50	169.5	45.0	6.1	10.3	26.7	26.7	0.0	0.0	16.2	24.6
YHTEENSÄ	9707.3	721.7	526.7	1788.4	817.8	817.8	384.5	297.3	14.5	23.0

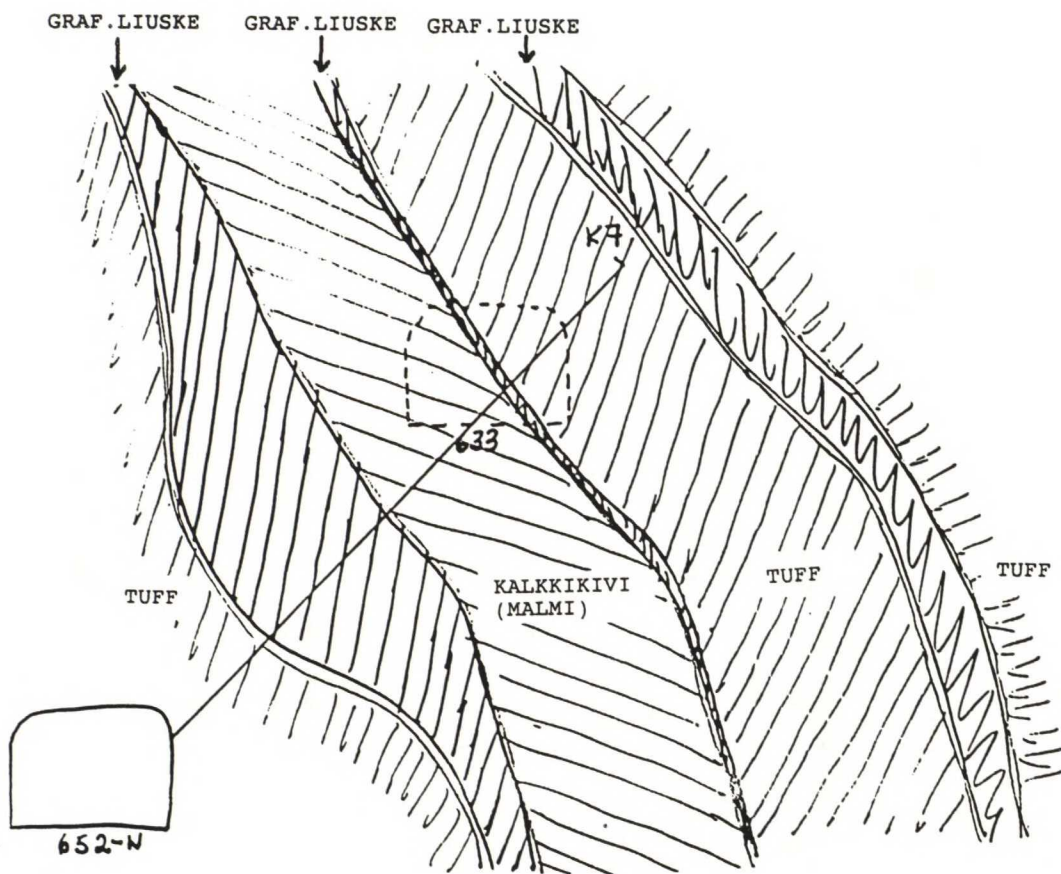
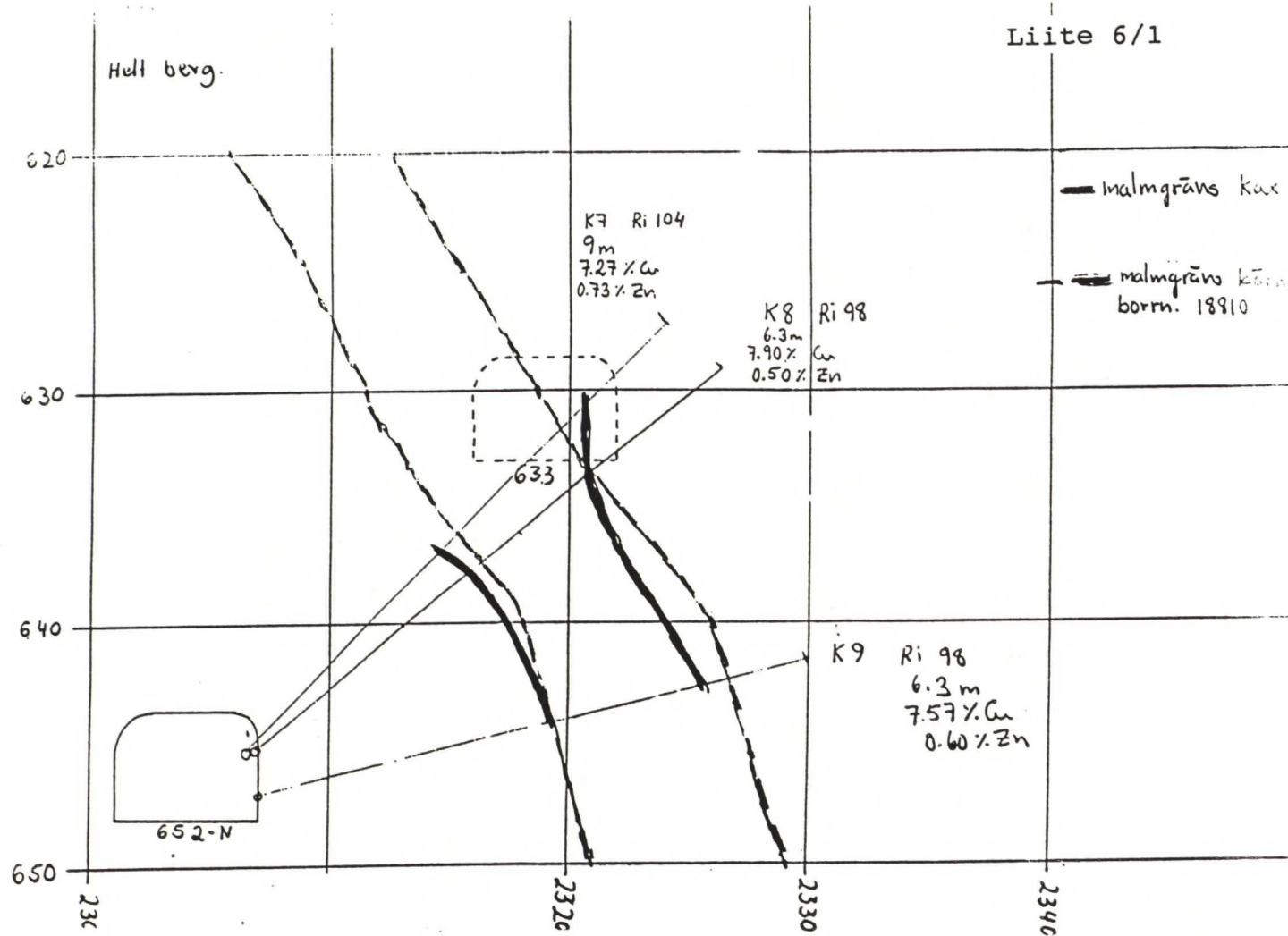
GEOLOGINEN RAAKKULAIMENNUS 14.5  
GEOLOGINEN MALMITAPPIO 23.0



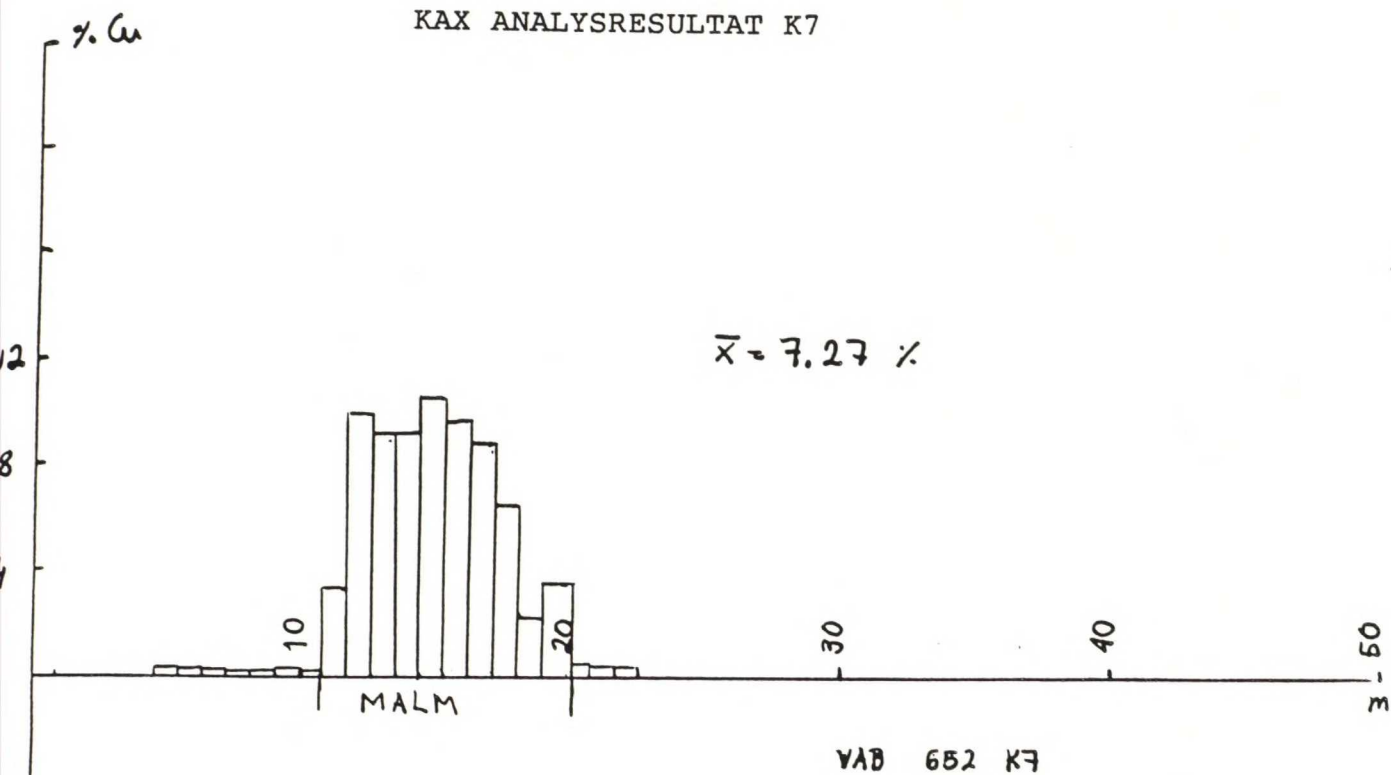
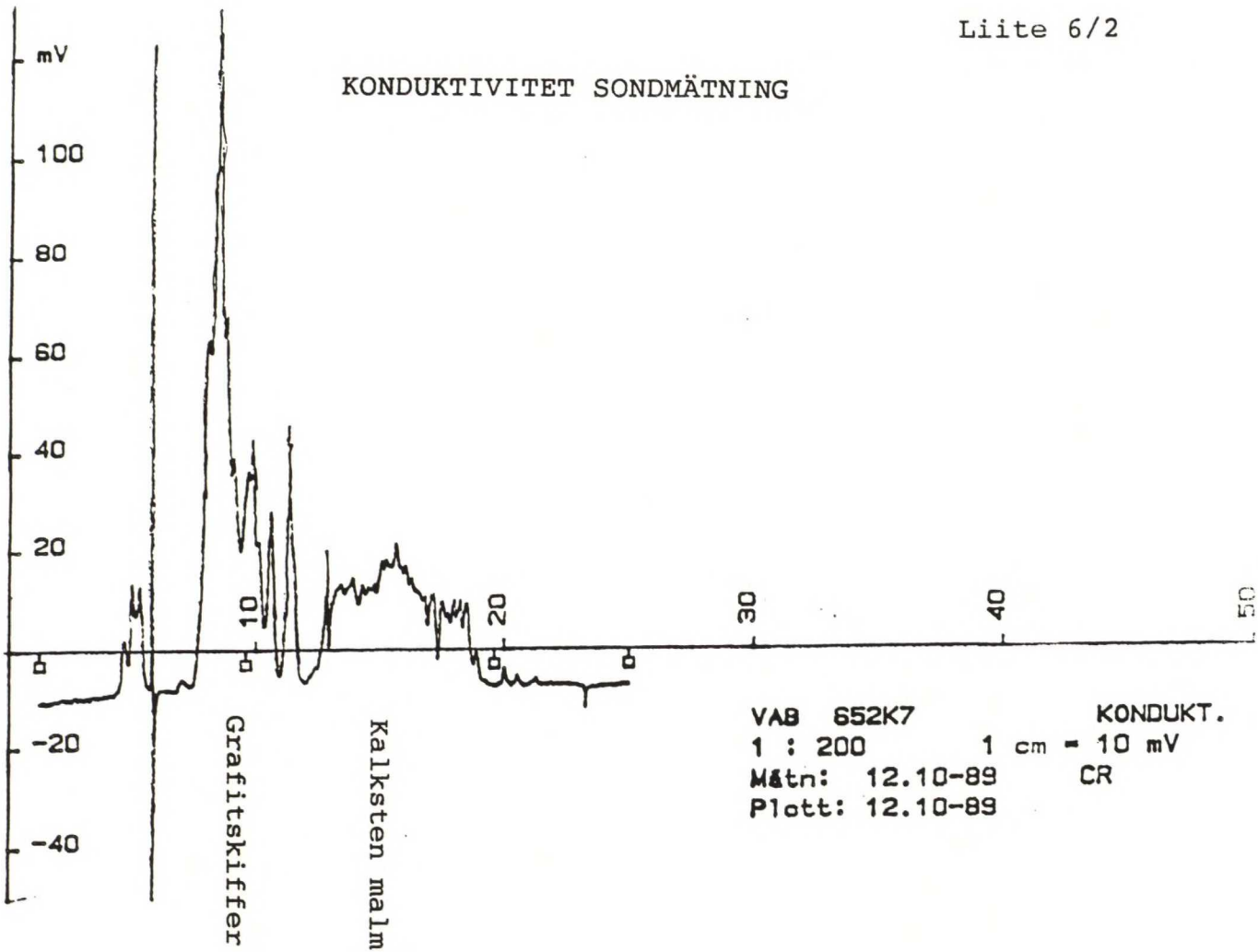


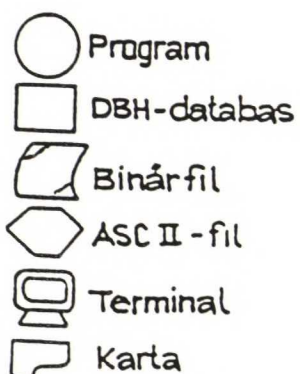
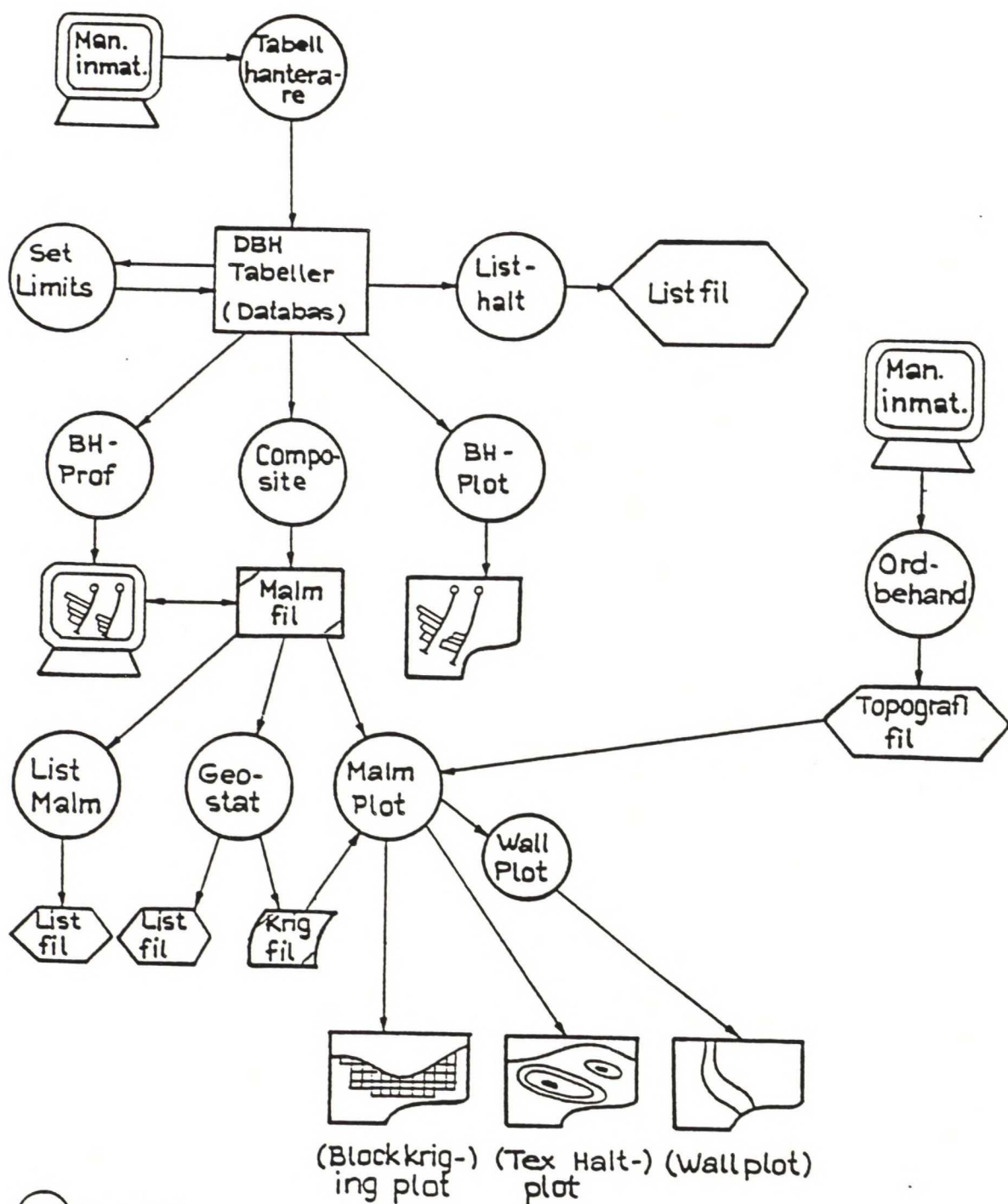


Hell berg.

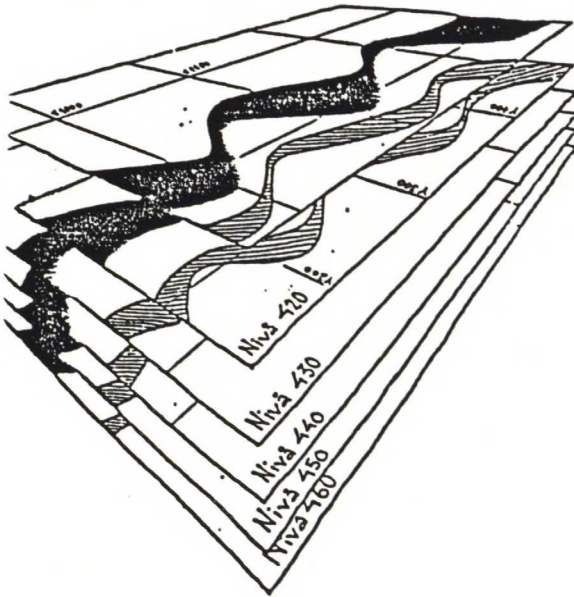




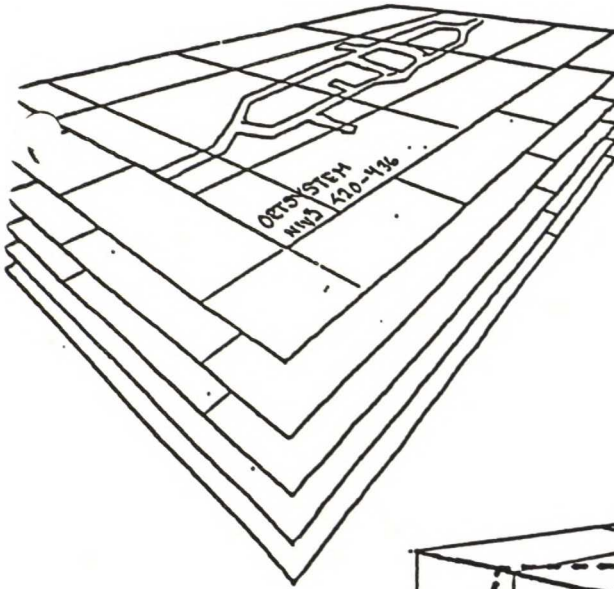


ORE-PACK Flödesplan



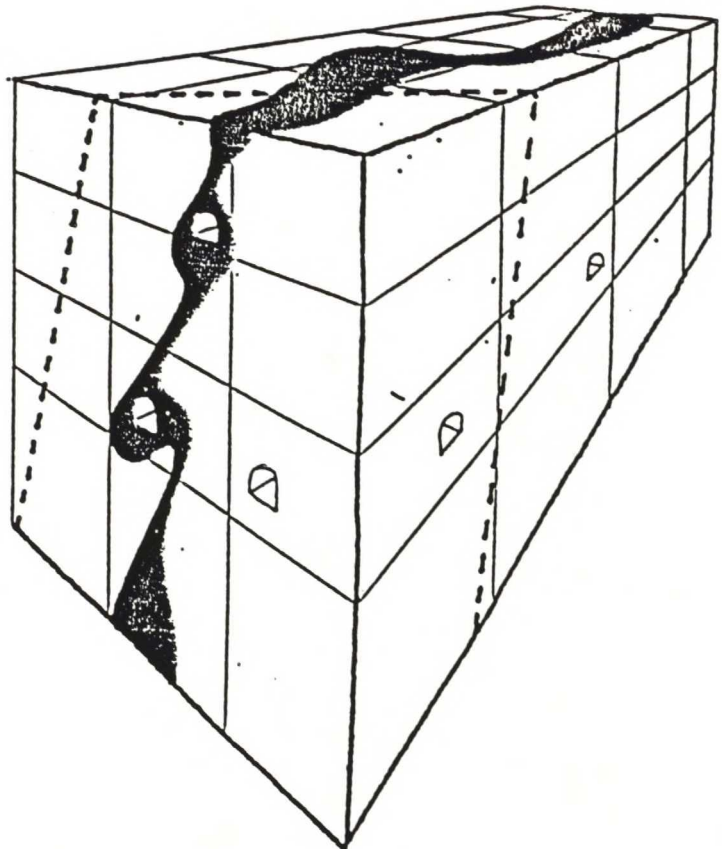


1. Malmin mallintaminen ja digitointi ohjelmaan 10 m:n tasovälein.



2. Vastaavan alueen peräverkoston digitointi ohjelmaan.

3. Suunnittelijan malmi-malli, josta saadaan profiileja poraus- ja rajäytyssuunnitelmia varten.

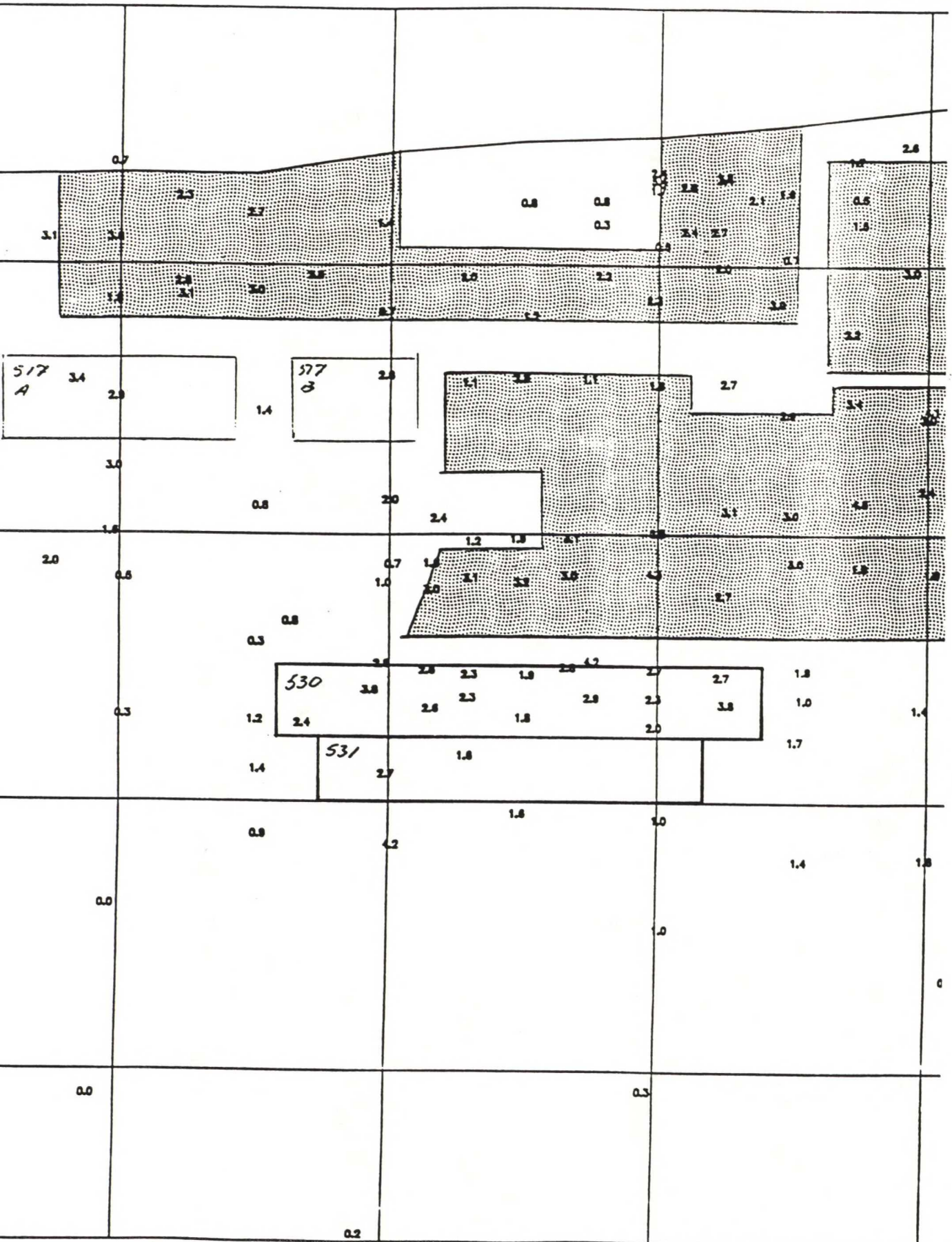


20900N

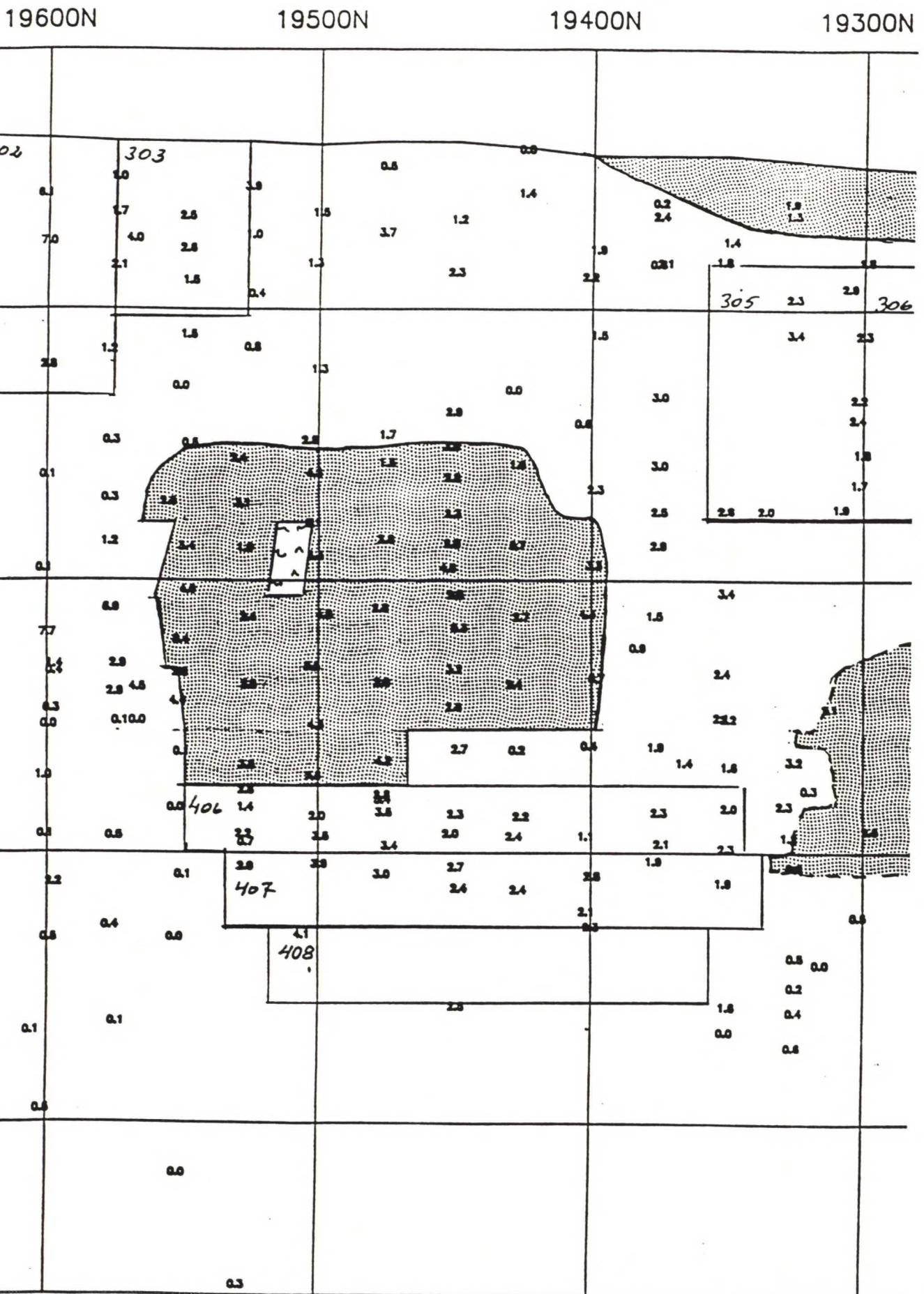
20800N

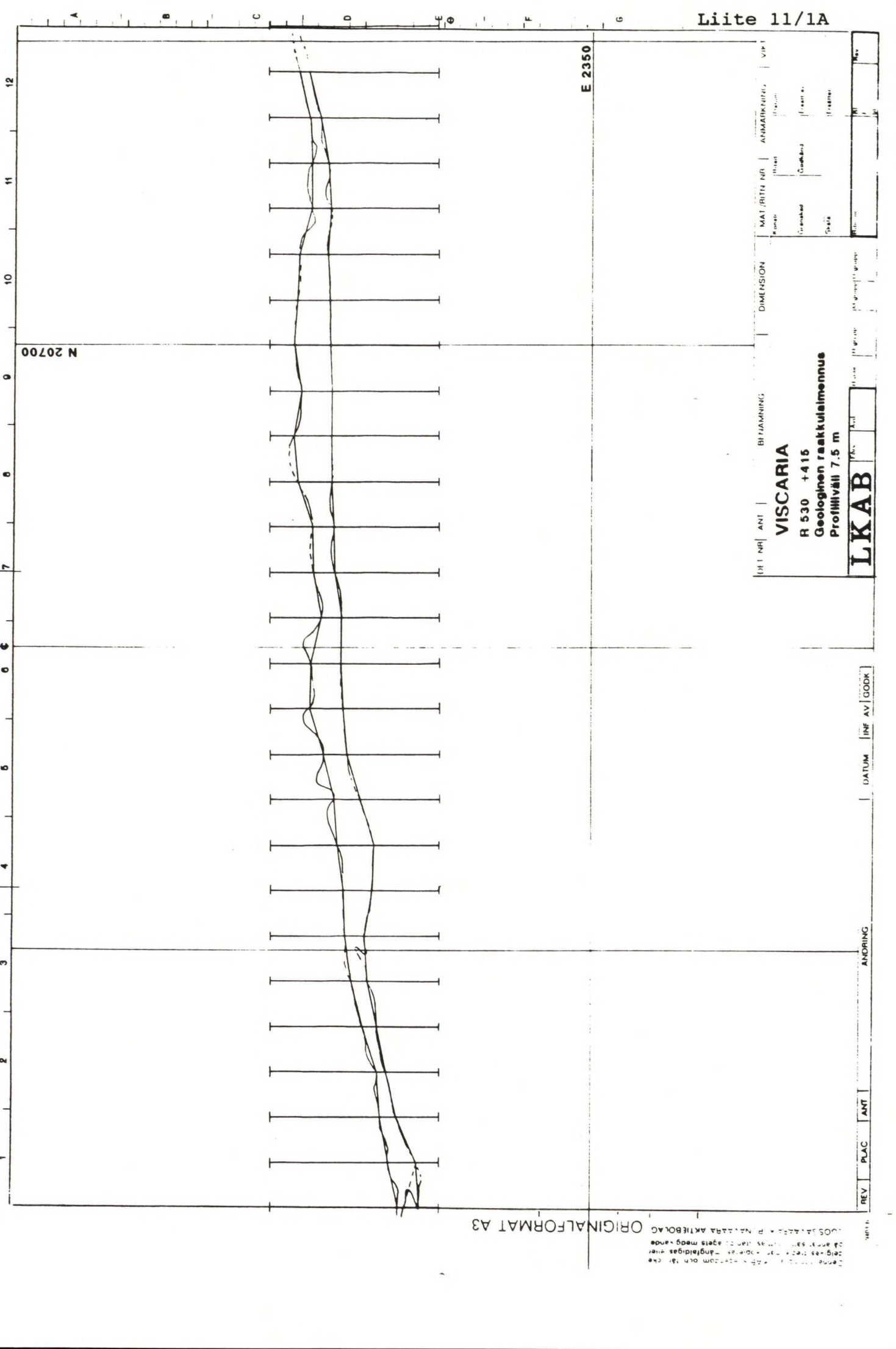
20700N

20600N









N 20700

E 2350

UNIT N°	ANT	BYNAMING	DIMENSION	MAT./RITA N°	ANMARKNING	VIP
<b>VISCARIA</b>						
R 530 +416						
Geologinen raakkulalmennus						
Profiliväli 7.5 m						
<b>LKAB</b>						

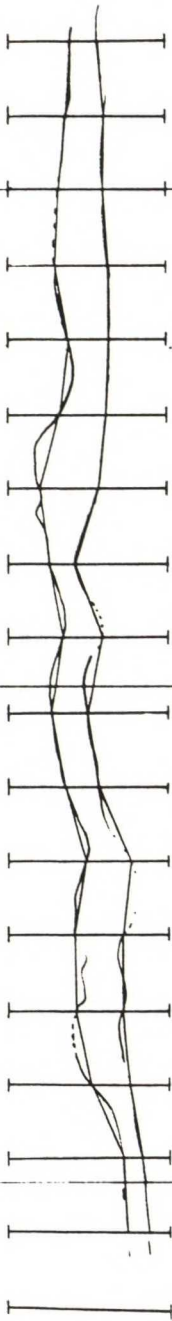
REV	PLAC	ANT	ANDRING	DATUM	INF	AV	GOOD
-----	------	-----	---------	-------	-----	----	------

ORIGINALFORMAT A3



E 2350

N 20700



DKT NR	ANT	BYNÄMNING	DIMENSION	MAT / RITN NR	ANMÄRKNING	VI
<b>VISCARIA</b>						
<b>R 531 +440</b>						
<b>Geologinen raakkulalmennus</b>						
<b>Profiliväli 7.5 m</b>						
<b>LKAB</b>						
Försk			Ant	Plac	Ant	
Datum			Inf	Av	OODK	
Andring						

Denna ritning är LKAB:s egendom och får inte delges tredje man kopieras mångfaldigas eller på annat sätt utnyttas utan bolagets tillstånd. LKAB:s rättigheter förbehålls. ORIGINALFORMAT A3

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20835.0	1.5	0.0	0.3	4.5	2.8	20.6	8.5	21.8	
-20827.5	0.8	0.0	0.3	0.0	3.8	28.1	3.6	0.0	
-20820.0	0.0	1.0	0.0	0.0	2.3	16.9	0.0	5.9	
-20812.5	0.0	2.0	1.3	0.0	2.0	15.0	8.3	13.3	
-20805.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.5	18.8	0.0	10.7	
-20797.5	0.0	1.8	2.0	0.0	3.0	22.5	8.9	7.8	
-20790.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	31.9	0.0	0.0	
-20782.5	1.8	0.0	0.0	0.0	5.5	41.3	4.2	0.0	
-20775.0	0.0	4.8	0.0	0.0	5.3	39.4	0.0	12.1	
-20767.5	0.0	6.3	2.5	0.0	4.3	31.9	7.8	19.6	
-20760.0	0.5	4.5	0.0	0.0	4.8	35.6	1.4	12.6	
-20752.5	2.0	0.0	0.0	0.0	5.3	39.4	5.1	0.0	
-20745.0	0.0	6.5	0.0	0.0	4.3	31.9	0.0	20.4	
-20737.5	1.8	0.0	0.0	1.3	3.5	26.3	6.7	4.8	
-20730.0	0.0	2.3	2.5	0.0	3.5	26.3	9.5	8.6	
-20722.5	0.0	5.3	0.0	0.0	4.5	33.8	0.0	15.6	
-20715.0	1.8	0.0	0.0	0.0	6.0	45.0	3.9	0.0	
-20707.5	1.5	0.0	0.0	0.0	5.8	43.1	3.5	0.0	
-20700.0	0.0	0.5	0.0	0.0	5.5	41.3	0.0	1.2	
-20692.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	43.1	0.0	0.0	
-20685.0	1.3	0.0	0.0	0.0	5.3	39.4	3.2	0.0	
-20677.5	2.0	0.8	0.8	0.8	4.0	30.0	9.2	5.0	
-20670.0	0.0	3.8	2.3	0.0	3.0	22.5	10.0	16.7	
-20662.5	1.3	0.0	1.8	0.0	2.5	18.8	16.0	0.0	
-20655.0	0.0	0.0	0.5	0.0	2.0	15.0	3.3	0.0	
					16	39.25	14	8.5	757.5

GEOLOGISKT GRB 4.0  
GEOLOGISKT MALMF 6.3



GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R531  
PROFIL AVSTÅND 7.5

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL
-20797.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	15.0	0.0	0.0
-20790.0	3.3	0.0	0.3	0.0	3.0	22.5	15.6	15.6
-20782.5	0.0	4.0	2.5	0.0	4.3	31.9	7.8	7.8
-20775.0	4.8	0.0	1.1	0.6	4.8	35.6	16.4	16.4
-20767.5	0.0	1.3	0.0	5.5	4.8	35.6	0.0	0.0
-20760.0	1.9	0.0	2.8	0.0	4.0	30.0	15.5	15.5
-20752.5	0.0	0.8	0.0	0.0	3.5	26.3	0.0	0.0
-20745.0	2.3	0.0	4.0	0.0	3.8	28.1	22.2	22.2
-20737.5	3.0	0.0	0.0	1.3	3.3	24.4	12.3	12.3
-20730.0	0.0	1.0	0.0	0.0	4.3	31.9	0.0	0.0
-20722.5	0.0	6.5	0.0	0.0	5.5	41.3	0.0	0.0
-20715.0	3.3	0.0	0.0	0.0	4.5	33.8	9.6	9.6
-20707.5	0.0	2.0	0.0	0.0	4.8	35.6	0.0	0.0
-20700.0	0.0	1.9	1.9	0.0	5.0	37.5	5.1	5.1
-20692.5	0.0	0.0	1.0	0.0	4.3	31.9	3.1	3.1
-20685.0	1.0	0.0	0.0	1.0	3.5	26.3	3.8	3.8
					8.35	487.5		
					13.5			
					17.4			
					19.4			

GEOLOGISKT GRB 6.7  
GEOLOGISKT MALMF 5.3

Liite 11/2A

E 2350

N 20700

Denningning av LKAB:s agendum och för icke  
begävas rätts och materiella mångfalds rätts  
och annat: säll uttrycks i vanligt bogets rätts-  
föreläggande: KILHUVAVARA ARIEBOUAC

1900.

## — DRINKING

DATUM | INF AV | GOOK

---

**LKAB**

100

1997

File no.

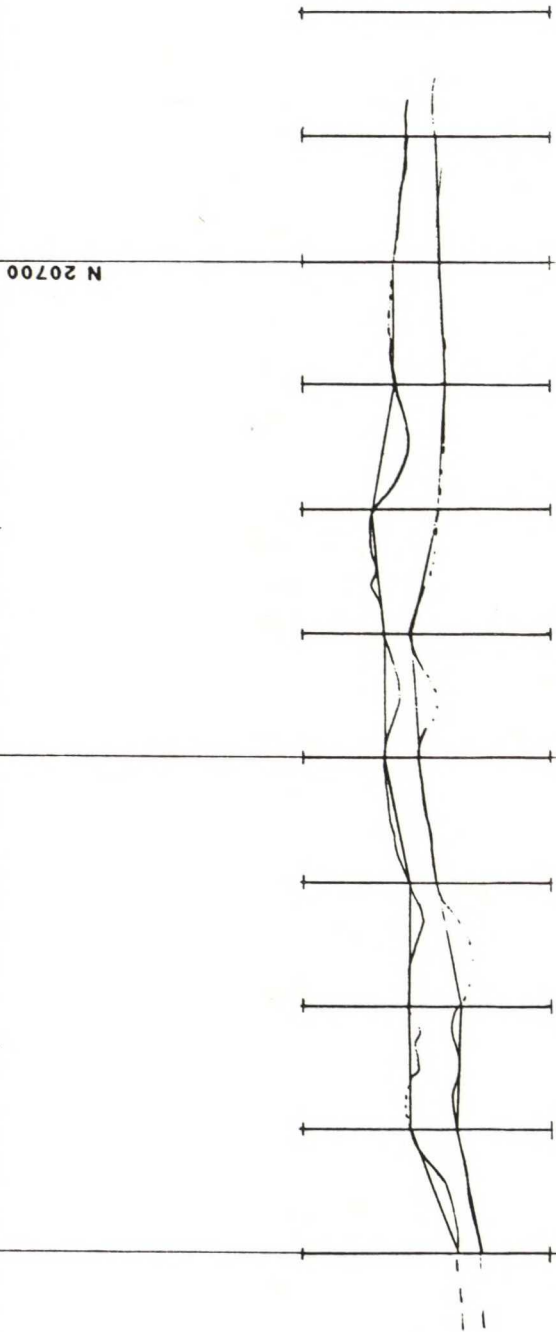
1

1

10

DEL NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT./RITN NR	ANMÄRKNING
<b>VISCARIA</b>					
<b>R 530 +415</b>					
<b>Geologinen raakulalmennus</b>					
<b>Profiliväli 12.5 m</b>					
				Kontti	Reiät
				Gravimäki	Gravimäki
				Seinä	Reiät a.
					Reiät b.

DEL NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT./RITN NR	ANMÄRKNING
<b>VISCARIA</b>					
<b>R 530 +415</b>					
<b>Geologinen raakulalmennus</b>					
<b>Profiliväli 12.5 m</b>					
				Kontti	Reiät
				Gravimäki	Gravimäki
				Seinä	Reiät a.
					Reiät b.



N 20700

Denne sifting af LKAB's ejendomme og de delvis med man ejede "Kangas-eier" på annet sätt utvinnings og ager i Norge-Lande  
 LUOSAVARA KIRUNAVARAARIN TIEBOLO  
 ORIGINALFORMAT A3

 $\Phi$ [illegible]



GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R530415

PROFIL AVSTÅND 12.5

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL
-20825.0	1.0	0.4	3.5	0.0	3.8	47.5	9.5	
-20812.5	2.0	0.0	2.0	0.0	2.5	31.3	12.8	
-20800.0	0.0	2.0	4.5	0.0	3.0	37.5	12.0	
-20787.5	0.0	0.0	2.8	0.0	4.3	53.8	5.2	
-20775.0	0.0	7.0	0.0	5.8	4.8	60.0	0.0	
-20762.5	6.8	3.8	4.5	0.0	5.5	68.8	16.4	
-20750.0	9.0	0.0	1.0	0.0	6.5	81.3	12.3	
-20737.5	14.0	0.0	0.0	2.8	5.0	62.5	22.4	
-20725.0	2.3	0.0	1.8	0.0	3.8	47.5	8.6	
-20712.5	0.0	16.5	0.0	0.0	4.8	60.0	0.0	
-20700.0	1.5	0.0	0.0	0.0	5.8	72.5	2.1	
-20687.5	0.0	1.0	0.0	0.0	5.5	68.8	0.0	
-20675.0	5.0	1.8	1.0	2.5	4.0	50.0	12.0	
-20662.5	5.5	0.9	1.0	2.8	2.5	31.3	20.8	
-20650.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.8	22.5	4.4	
	47.1	33.4	23.1	13.9		795		

GEOLOGISKT GRB 8.8  
GEOLOGISKT MALMF 5.9

GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R531

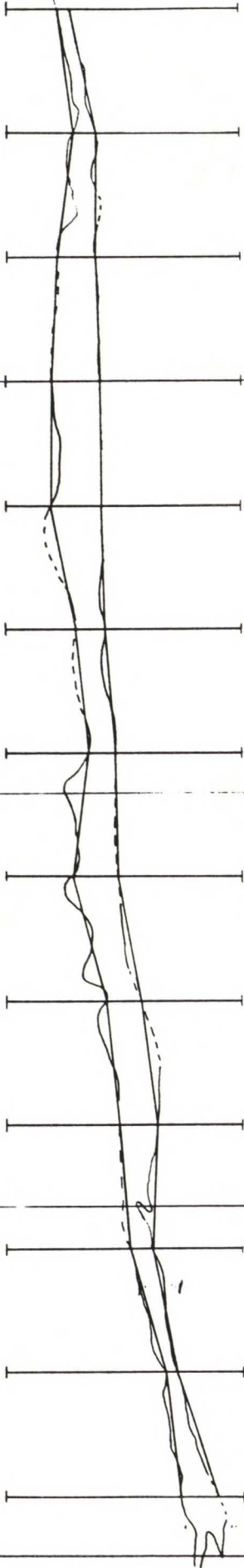
PROFIL AVSTÅND 12.5

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	BRYTNING GRB	INBL MALMF	
-20787.5	8.8	0.0	0.0	0.0	3.7	46.3	19.0	0.0	
-20775.0	4.8	1.5	4.5	0.0	5.0	62.5	14.9	2.4	
-20762.5	5.5	0.0	0.0	15.0	4.0	50.0	11.0	30.0	
-20750.0	0.0	6.1	0.0	0.0	3.1	38.8	0.0	15.7	
-20737.5	9.5	0.0	0.0	11.3	3.3	41.3	23.0	27.4	
-20725.0	2.8	0.0	0.0	2.3	4.8	60.0	4.7	3.8	
-20712.5	20.3	0.0	0.0	0.5	5.9	73.8	27.5	0.7	
-20700.0	0.0	2.5	1.1	0.0	4.9	61.3	1.8	4.1	
-20687.5	0.0	0.0	0.5	1.5	3.9	48.8	1.0	3.1	
51.7	10.1	6.1	30.55	482.5					

GEOLOGISKT GRB 12.0  
GEOLOGISKT MALMF 8.4

E 2350

N 20700



DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT / RITN NR	ANMÄRKNING
VISCARIA					
R 530 +415					
Geologinen raakkulaimennus					
Profiliväli 15 m					
L K A B					

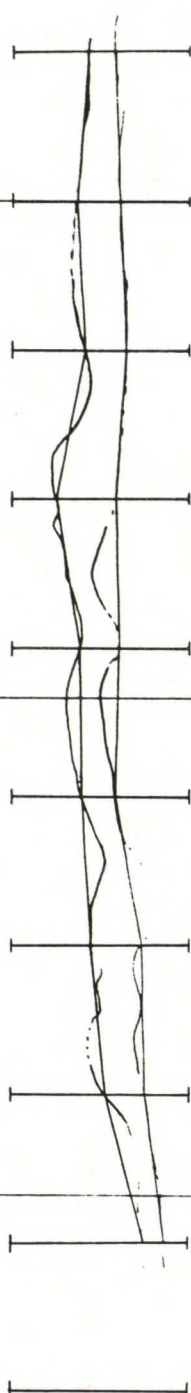
REV	PLAC	ANT	ANDRING	DATUM	INF	AV	GODK

LOOS JA ARBA - JÄNKÄÄRÄ 2017 EBOU ORIGINALFORMAT A3  
Denna ritning är en del av en serie ritningar som utgör en del av en större ritning. Den är inte avsedd att användas separat. För mer information se ritningens titelblad.



E 2350

N 20700



DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT /RTN NR Korsett	ANMARKNING, Färgm.
<b>VISCARIA</b>					
R 531	+440	Geologinen raakkulaismennus		Gränsländ	Färgell s.
Profihvält 15 m				Stals	Färster
			H omr	RTN nr	BT
			H grupps	M4 grupp(1) grupp	
<b>LKAB</b>			76w	A-d	

REV.	PLAC.	ANT	ANDRING	DATUM	INF	AV	GOOD
------	-------	-----	---------	-------	-----	----	------

Denkschrift an das Reichsministerium des Innern  
über die Verhältnisse der Juden in der Reichswehr  
vom 1. März 1933

GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R530  
PROFIL AVSTÅND 15

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
20820.0	0.5	4.3	5.3	0.0	3.0	45.0	12.8	9.4	
20805.0	0.0	4.3	1.3	2.5	2.3	33.8	3.7	20.0	
20790.0	0.0	4.5	7.0	0.0	3.3	48.8	14.4	9.2	
20775.0	1.3	6.0	0.0	9.5	4.8	71.3	1.8	21.8	
20760.0	1.4	9.3	6.3	0.0	5.0	75.0	10.2	12.3	
20745.0	1.0	10.8	1.3	0.0	4.5	67.5	3.3	15.9	
20730.0	0.8	5.0	4.5	0.0	3.5	52.5	10.0	9.5	
20715.0	0.0	9.0	2.3	0.0	5.0	75.0	3.0	12.0	
20700.0	8.0	0.0	0.0	0.0	6.3	93.8	8.5	0.0	
20685.0	1.3	0.0	0.0	0.0	5.5	82.5	1.5	0.0	
20670.0	6.0	1.8	1.3	1.8	4.0	60.0	12.1	5.8	
20655.0	6.0	0.0	1.3	0.5	2.3	33.8	21.5	1.5	
26.15 54.75 30.25 14.25 738.75									

GEOLOGISKT GRB 7.6  
GEOLOGISKT MALMF 9.3

GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R531  
PROFIL AVSTÅND 15

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20790.0	12.8	0.0	0.0	1.5	3.0	45.0	28.3	0.0	
-20775.0	3.5	6.5	7.5	0.0	4.5	67.5	16.3	0.1	
-20760.0	11.0	0.0	0.0	14.5	4.3	63.8	17.3	0.2	
-20745.0	0.0	13.0	13.0	0.0	3.8	56.3	23.1	0.2	
-20730.0	2.0	1.0	18.5	0.0	5.0	75.0	27.3	0.0	
-20715.0	5.5	4.0	0.0	0.0	5.0	75.0	7.3	0.1	
-20700.0	0.0	9.0	0.0	0.0	4.3	63.8	0.0	0.1	
-20685.0	1.0	0.0	0.0	2.5	3.5	52.5	1.9	0.0	
35.75		33.5	39	18.5	498.75				

GEOLOGISKT GRB 15.0  
GEOLOGISKT MALMF 10.4



Liite 11/4A

E 2350

N 20700

Denna riktning är LKAB:s egenom och får inte delas ut till tredje man kopieras måndagstidningen eller på annat sätt utnyttjas utan föregående medgivande  
LUOSSAVARA-KIIRUNAVARA AKTIEBOLAG ORIGINALFORMAT A3

01 1000

REV. FORM.

## ANCHORING

DATUM

0000

1

**ЛНАБ**

10

---

---

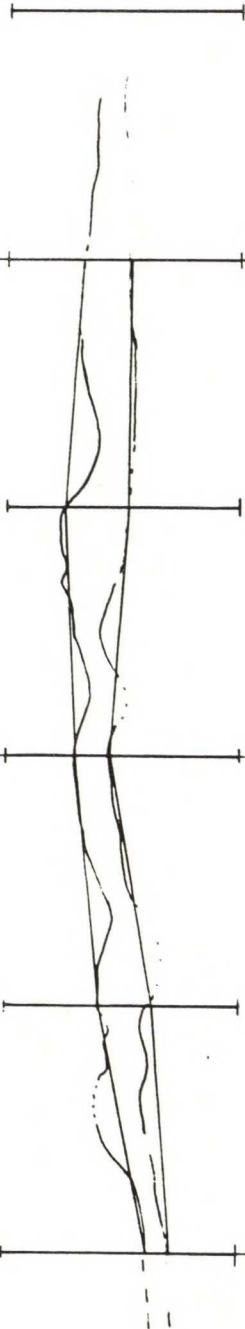
10

400

DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT /RITN NR	ANMÄRKNING
VISCARIA				Rensat	Datum
R 530 +415				Gravskad	Färgat av
Geologinen raakkulaimennus				Shala	Färgat
Profiltiiväli 25 m					
LKAB		Ant	H omr	H grupp	H gruppi / grup

E 2350

N 20700



DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT / RITN NR	ANMÄRKNING
		<b>VISCARIA</b>			
		<b>R 531 +440</b>			
		<b>Geologinen raakulaimennus</b>			
		<b>Profiliväli 25 m</b>			

ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING

ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING

ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING	ANMÄRKNING

REVIS	PLAC	ANT	DATUM	INF	AV	ODOK

Denna ritning är LKAB:s egendom och får inte  
delges tredje man, med ett undantagande eller  
på annat sätt offentliggöra, utan LKAB:s skriftliga  
tillstånd. LKAB KILBUNA, LARA AKTIEBOLAG

ORIGINALFORMAT A3

GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R530415  
PROFIL AVSTÅND 25

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20800.0	2.5	2.5	10.3	0.0	3.0	75.0	17.1	0.0	
-20775.0	3.0	5.3	0.5	24.5	4.0	100.0	3.5	0.3	
-20750.0	2.5	16.0	21.0	0.0	5.4	135.0	17.4	0.1	
-20725.0	33.3	0.0	2.5	2.3	5.1	127.5	28.1	0.0	
-20700.0	1.8	17.8	0.0	1.0	5.0	125.0	1.4	0.2	
-20675.0	5.3	4.5	0.0	2.5	4.5	112.5	4.7	0.1	
-20650.0	21.5	0.0	0.0	15.8	2.3	57.5	37.4	0.3	
	69.9	46.1	34.3	46.05		732.5			

GEOLOGISKT GRB 14.2  
GEOLOGISKT MALMF 12.6



GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R531  
PROFIL AVSTÅND 25

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20775.0	2.8	17.8	23.5	0.0	4.0	100.0	26.3	0.2	
-20750.0	14.8	0.0	6.3	11.0	4.8	120.0	17.5	0.1	
-20725.0	12.8	3.3	11.3	5.3	5.3	132.5	18.2	0.1	
-20700.0	29.3	0.0	0.0	6.3	5.8	145.0	20.2	0.0	
	59.7	21.1	41.05	22.6		497.5			

GEOLOGISKT GRB 20.3  
GEOLOGISKT MALMF 8.8

LKAB	M <sub>max</sub>	A <sub>ref</sub>	1st time	1st group	1st group / 1st group	with no	M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>
------	------------------	------------------	----------	-----------	-----------------------	---------	------------------	------------------

1.  $\text{max}_{\theta} \text{min}_{\phi} \mathbb{E}_{\mathbf{x} \sim p_{\theta}(\mathbf{x})} \mathbb{E}_{\mathbf{y} \sim p_{\phi}(\mathbf{y})} [\text{loss}(\mathbf{x}, \mathbf{y})]$

DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT / RITN NR	ANMÄRKNING
<b>VISCARIA</b>					
<b>R 530 +415</b>					
<b>Geologinen reaktiivisuus</b>					
				Koste	Riitt
				Gravim	Gravim
				Stabi	Stabi

## VISCARIA

R 530 +415

**Geologinen raakulatemennus**  
**Profiliivän 30 m**

# ILKAB

—

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f(T^k x) = \int_X f d\mu$$

Originalformat A3

ORIGINALFORMAT A3

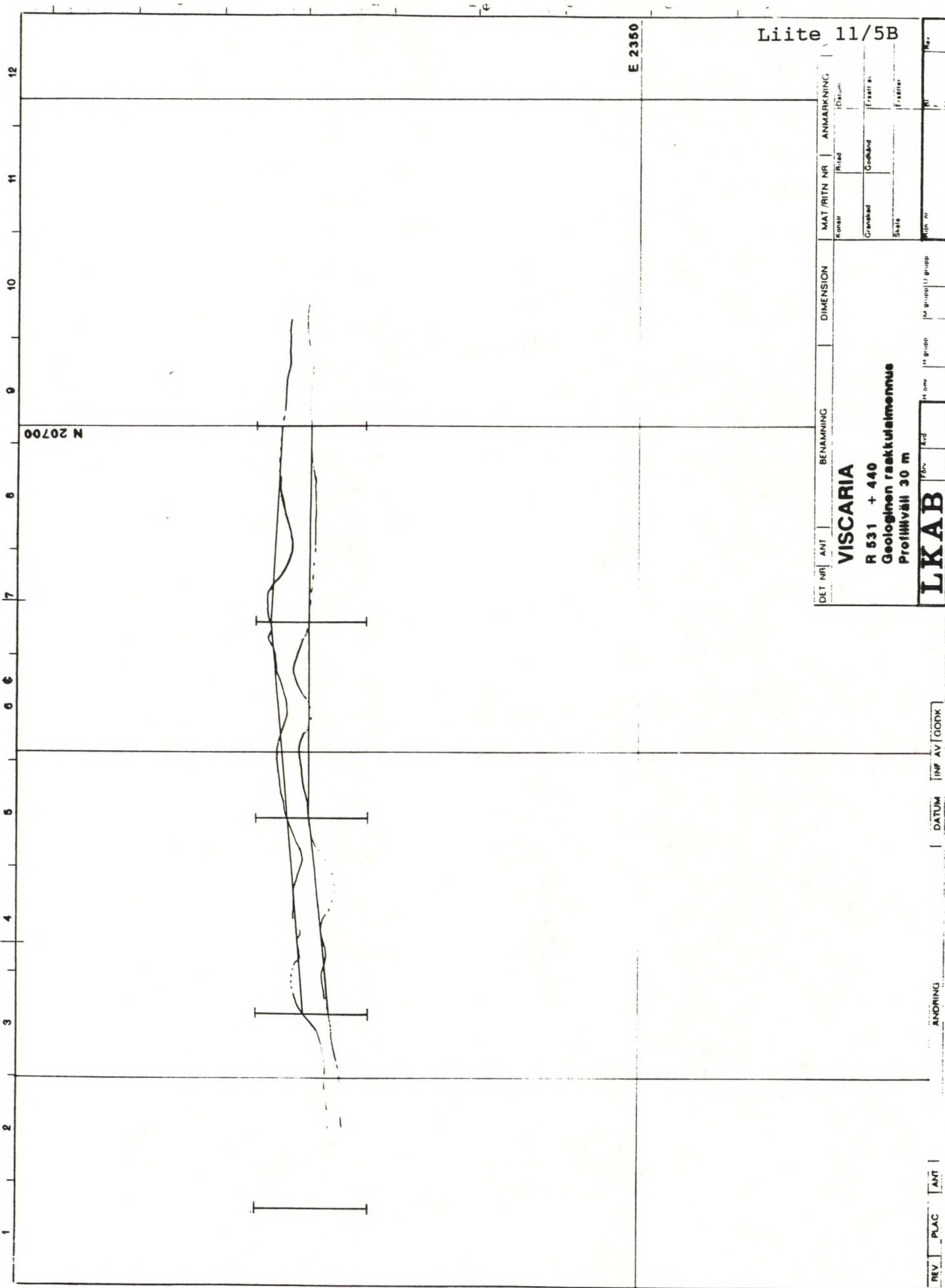
⊕

N 20700

E 2350

Denna ritning är LKAB:s egendom och får inte delgas tredje man kopieras mångfaldigas eller på annat sätt utnyttjas utan bolagets medgivande

LUOSSAVALAARA KIIRUNNAVALAARA AKTIEBOLAG  
ORIGINALFORMAT A3



Liite 11/5B

E 2350

DET NR	ANT	BENÄMNING	DIMENSION	MAT / RITN NR	ANMÄRKNING	Rev.
				Kontor	Ritad	Rev.
				Granskad	Granskad	Rev.
				Skatt	Skatt	Rev.
						Rev.

**LKAB**

1/65

14 omr 14 grupp 14 grupp 14 grupp



GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R530  
PROFIL AVSTÅND 30

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20790.0	0.0	27.8	35.0	0.0	3.3	97.5	35.9	28.5	
-20760.0	13.8	3.8	4.5	11.3	5.5	137.5	13.3	10.9	
-20730.0	20.0	2.0	3.5	3.8	5.0	125.0	18.8	4.6	
-20700.0	1.5	20.3	3.0	0.0	5.0	125.0	3.6	16.2	
-20670.0	4.5	4.0	2.3	1.3	4.5	112.5	6.0	4.7	
	39.75	57.75	48.25	16.25		597.5			

GEOLOGISKT GRB 14.7  
GEOLOGISKT MALMF 12.4

GEOLOGISKT GRÅBERGSINBLANDNING  
R531  
PROFIL AVSTÅND 30

N-KOORD	HÄNGV. GRB	HÄNGV. MALMF.	LIGGANDE GRB	LIGGANDE MALMF.	BRYTNING BREDD	BRYTNING YTA	GRB	INBL	MALMF
-20760.0	10.5	7.8	2.5	18.8	3.8	112.5	11.6	0.2	
-20730.0	11.3	8.0	26.3	1.0	4.8	142.5	26.3	0.1	
-20700.0	23.3	2.8	0.0	13.8	5.3	157.5	14.8	0.1	
45	18.5	28.75	33.5	412.5					

GEOLOGISKT GRB 17.9  
GEOLOGISKT MALMF 12.6

MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 41501

SALVA DATUM	INSITUHAL enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
APU	1.6	4.0	5.6	1.1	28.6	9.0
890822	2.0	4.0	5.7	1.4	29.8	5.0
890823	2.3	4.0	5.6	1.6	28.6	3.5
890828	2.4	5.1	5.7	2.1	10.5	4.0
890830	2.0	4.0	5.6	1.4	28.6	3.5
890901	1.7	4.0	5.9	1.2	32.2	4.0
890904	0.8	4.0	5.6	0.6	28.6	4.5
890906	0.5	4.0	5.6	0.4	28.6	3.5
890911	0.9	4.0	5.6	0.6	28.6	4.5
890913	1.7	4.0	5.6	1.2	28.6	8.0
890914	5.5	5.7	5.7	5.5	0.0	4.5
890915	6.0	5.6	5.6	6.0	0.0	4.5
890916	5.6	4.0	5.6	4.0	28.6	3.5
890919	5.7	4.0	5.6	4.1	28.6	4.5
890920	3.2	4.9	5.6	2.8	12.5	4.0
890921	3.0	5.3	5.6	2.8	5.4	3.5
890922	3.3	4.4	5.6	2.6	21.4	4.5
890926	1.4	4.8	5.7	1.2	15.8	6.0
890929	1.7	4.4	5.7	1.3	22.8	4.5
891002	1.4	5.3	5.7	1.3	7.0	4.0
891004	1.3	5.6	5.8	1.3	3.4	4.5
891005	1.4	4.0	5.6	1.0	28.6	4.0
891009	1.2	5.2	5.6	1.1	7.1	4.0
891010	0.9	4.0	5.6	0.6	28.6	4.0
891012	1.2	4.0	5.6	0.9	28.6	3.0
891016	1.1	4.0	5.6	0.8	28.6	2.5

TOTAL GRB INBL.	20.3
INSITU HALT	2.3
UTFALL HALT	1.9



MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 41502

SALVA DATUM	INSITUHAL enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
APU	1.6	4.0	5.6	1.1	28.6	9.0
890822	2.0	4.0	5.7	1.4	29.8	5.0
890823	2.3	4.0	5.6	1.6	28.6	3.5
890828	2.4	5.1	5.7	2.1	10.5	4.0
890830	2.0	4.0	5.6	1.4	28.6	3.5
890901	1.7	4.0	5.9	1.2	32.2	4.0
890904	0.8	4.0	5.6	0.6	28.6	4.5
890906	0.5	4.0	5.6	0.4	28.6	3.5
890911	0.9	4.0	5.6	0.6	28.6	4.5
890913	1.7	4.0	5.6	1.2	28.6	8.0
890914	5.5	5.7	5.7	5.5	0.0	4.5
890915	6.0	5.6	5.6	6.0	0.0	4.5
890916	5.6	4.0	5.6	4.0	28.6	3.5
890919	5.7	4.0	5.6	4.1	28.6	4.5
890920	3.2	4.9	5.6	2.8	12.5	4.0
890921	3.0	5.3	5.6	2.8	5.4	3.5
890922	3.3	4.4	5.6	2.6	21.4	4.5
890926	1.4	4.8	5.7	1.2	15.8	6.0
890929	1.7	4.4	5.7	1.3	22.8	4.5
891002	1.4	5.3	5.7	1.3	7.0	4.0
891004	1.3	5.6	5.8	1.3	3.4	4.5
891005	1.4	4.0	5.6	1.0	28.6	4.0
891009	1.2	5.2	5.6	1.1	7.1	4.0
891010	0.9	4.0	5.6	0.6	28.6	4.0
891012	1.2	4.0	5.6	0.9	28.6	3.0
891016	1.1	4.0	5.6	0.8	28.6	2.5

TOTAL GRB INBL.	20.3
INSITU HALT	2.3
UTFALL HALT	1.9

MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 43501

SALVA DATUM	INSITUH. enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
890117	1.5	4.0	5.5	1.1	27.3	3.0
890118	1.8	4.0	5.7	1.2	29.8	3.5
890123	0.5	4.0	6.7	0.3	40.3	3.5
890125	1.4	4.0	6.3	0.9	36.5	3.5
890127	0.3	4.0	6.4	0.2	37.5	3.0
890130	0.3	4.0	5.5	0.2	27.3	2.5
890209	0.4	4.0	6.4	0.3	37.5	3.0
890214	1.6	4.0	7.3	0.9	45.2	4.0
890221	6.7	5.5	5.6	6.6	1.8	3.5
890303	2.6	4.2	5.6	2.0	25.0	5.0
890307	5.5	5.6	5.6	5.5	0.0	4.0
890310	2.3	4.0	5.6	1.6	28.6	3.5
890314	5.2	4.8	8.0	3.1	40.0	4.0
890316	2.8	4.0	6.1	1.8	34.4	4.0
890324	3.0	4.0	8.0	1.5	50.0	5.5
890328	4.3	5.8	6.3	4.0	7.9	6.5
890330	5.0	4.0	5.7	3.5	29.8	6.0
890402	3.3	4.0	5.6	2.4	28.6	5.0
890405	3.8	4.1	5.7	2.7	28.1	3.5
890411	3.1	5.3	5.9	2.8	10.2	4.0
890412	3.0	5.0	6.1	2.5	18.0	2.5
890414	1.1	4.0	6.0	0.7	33.3	3.0
890417	2.9	4.0	6.7	1.7	40.3	3.0
890421	2.6	4.0	5.6	1.9	28.6	3.0
890424	1.2	4.0	5.7	0.8	29.8	4.0

TOTAL GRB INBL	28.3
INSITU HALT	2.9
UTFALL HALT	2.0

MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 44001

SALVA DATUM	INSITUH ENL KNACK	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
891206	2.2	4.0	5.6	1.6	28.6	7.5
891211	0.8	4.0	5.7	0.6	29.8	3.0
891212	0.8	4.0	5.7	0.6	29.8	4.5
891214	1.3	4.0	5.0	1.0	20.0	5.0
891218	1.9	4.3	6.0	1.4	28.3	7.5
891220	2.2	4.5	5.7	1.7	21.1	4.5
891222	1.9	4.6	5.2	1.7	11.5	6.0
900102	0.9	4.0	5.7	0.6	29.8	6.5
900108	0.7	4.0	5.2	0.5	23.1	6.0

GRB INBL	24.7
INSITU HALT	1.5
UTFALL HALT	1.1



MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 44002

SALVA DATUM	INSITUH enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
891206	2.2	4.0	5.6	1.6	28.6	7.0
891211	1.6	4.0	5.6	1.1	28.6	2.5
891212	2.6	4.1	5.7	1.9	28.1	3.0
891214	2.7	5.2	6.0	2.3	13.3	4.5
891218	3.0	6.0	6.0	3.0	0.0	8.0
891220	2.8	4.4	5.8	2.1	24.1	4.5
891222	1.9	4.0	5.7	1.3	29.8	4.0
891227	1.5	4.0	5.7	1.0	29.8	8.0
900102	2.5	5.2	5.7	2.3	8.8	4.0
900108	1.9	4.3	5.7	1.5	24.6	3.0
900110	2.9	4.4	5.7	2.3	22.8	4.0
900112	2.2	4.0	5.7	1.5	29.8	4.5
900114	2.8	4.0	5.7	2.0	29.8	4.0
900117	1.4	4.0	5.7	1.0	29.8	9.0

GRB INBL	22.9
INSITU HALT	2.2
UTFALL HALT	1.7

MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 67703

SALVA DATUM	INSITUH. enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
890929	2.1	5.6	5.6	2.1	0.0	3.5
890930	1.6	4.0	4.7	1.4	14.9	3.0
891003	1.9	4.0	5.6	1.4	28.6	4.5
891006	1.6	4.0	5.6	1.1	28.6	5.5
891024	2.2	4.0	5.6	1.6	28.6	3.5
891027	1.6	4.0	5.6	1.1	28.6	4.0
891102	4.6	5.0	5.6	4.1	10.7	2.5
891107	7.6	4.5	5.6	6.1	19.6	5.0
891122	7.6	5.2	5.6	7.1	7.1	1.5
891204	13.5	4.9	5.6	11.8	12.5	4.5
891207	13.5	5.0	5.6	12.1	10.7	7.5
891215	10.8	4.0	4.5	9.6	11.1	2.5
891219	12.2	4.0	5.0	9.8	20.0	8.5
900105	13.5	5.1	5.1	13.5	0.0	5.0
900117	6.5	4.0	6.4	4.1	37.5	

TOTAL GRB INBL	16.6
INSITU HALT	7.6

MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 69703

SALVA DATUM	INSITUH. enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
891122	1.9	4.0	5.6	1.4	28.6	8.0
891127	2.9	4.0	5.6	2.1	28.6	4.5
891204	2.9	5.1	5.6	2.6	8.9	2.5
891208	1.2	4.0	5.6	0.9	28.6	3.0
900109	5.1	5.6	5.6	5.1	0.0	3.0
900112	5.3	4.5	5.0	4.8	10.0	3.0
900123	4.5	4.0	5.6	3.2	28.6	4.0
900125	1.5	4.0	5.6	1.1	28.6	0.0

TOTAL GRB INBL	21.8
INSITU HALT	3.2
UTFALL HALT	2.5



MALMORTDRIVNING UNDERSÖKNING  
Ort nr. \* 74502

SALVA DATUM	INSITUH. enl knack	MALM BREDD	ORT BREDD	UTFALL HALT	GRB INBL	SALVA LÄNGD
891013	8.9	5.4	5.6	8.6	3.7	3.0
891117	8.4	4.0	5.6	6.0	40.0	7.0
891121	8.9	5.4	5.6	8.6	3.7	3.0
891126	8.9	5.6	5.6	8.9	0.0	3.0
891129	8.9	4.6	5.6	7.3	21.7	3.5
891201	8.9	5.6	5.6	8.9	0.0	3.5
891204	9.0	5.3	5.6	8.5	5.7	3.0
891208	9.8	4.0	5.7	6.9	42.5	4.0
891211	10.3	5.6	5.6	10.3	0.0	4.0
891213	10.3	5.6	5.6	10.3	0.0	4.0
891215	10.3	5.6	5.6	10.3	0.0	4.0
891220	10.3	4.0	5.9	7.0	47.5	3.0
891222	10.3	5.6	5.6	10.3	0.0	3.0
891227	7.2	4.0	5.8	5.0	45.0	4.0
900104	1.4	4.0	5.6	1.0	40.0	3.5
900126	2.8	4.0	5.8	1.9	45.0	6.0
900129	1.7	4.0	5.6	1.2	40.0	5.5
900209	4.5	4.0	5.7	3.2	42.5	3.0
900217	2.1	4.0	5.6	1.5	40.0	5.5

TOTAL GRB INBL	24.7
INSITU HALT	7.1
UTFALL HALT	5.4

74.61

2:300

850131

R 402

850131

R 401  
850131

850131

392

2:400

Liite 13

850131

3/10

3/10

3/10

3/10

850131

850131

850131

850131

850131

Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kallio-  
tekniikan laitoksen kirjasto  
Vuorimiehentie 2  
02150 ESPOO